

drift for transition

Report

Entwicklungspfade innovativer Infrastrukturkopplungen verstehen: Neun Fallstudien

datum
November 2018

herausgegeben von
Katharina Hölscher
Julia Wittmayer

drift for transition

Entwicklungspfade innovativer Infrastrukturkopplungen verstehen: Neun Fallstudien

Herausgegeben von

Katharina Hölscher
Julia Wittmayer

November 2018

Im Auftrag des Umweltbundesamtes für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Kurzbeschreibung

Die Innovation von Infrastrukturkopplungen kann Transformationsprozesse hin zu einer nachhaltigen und klimaresilienten Gesellschaft unterstützen. Um die Entwicklungen von innovativen Infrastrukturkopplungen zu verstehen und Handlungsmöglichkeiten für deren Unterstützung abzuleiten, wurden die Entwicklungspfade von neun umgesetzten innovativen Infrastrukturkopplungen nachgezeichnet, welche das Potenzial haben zu gesellschaftlicher Nachhaltigkeit und Klimaresilienz beizutragen. Dieser Bericht stellt die neun Fallstudien vor – Fallbeispiele umfassen unter anderem die Erschließung neuer Energiequellen durch Kopplungen von Energie- und Wärmeerzeugung mit Abwasserwärme oder Serverabwärme, den Aufbau intelligenter Netze zur produktions- und bedarfsgerechten Verteilung erneuerbarer Energiequellen, die Verwendung von Wasserstoff als Energiespeicher und für Energieversorgung und privates Carsharing über eine Internetplattform.

Das Ziel der Fallstudien war es, Faktoren zu identifizieren, die einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung und Umsetzung von gekoppelten Infrastrukturprojekten ausüben und diese unterstützen und/oder hemmen. Anstatt isolierte Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren zu benennen, wurden die Faktoren im Zusammenhang mit ihrer Wirkung auf den Entwicklungspfad und mit ihrem Umgang durch Handlungen von Akteuren beschrieben. Dies ermöglichte es zu erkennen, unter welchen Umständen die Faktoren Entwicklungen von gekoppelten Infrastrukturprojekten fördern oder hindern und durch welche Handlungen Akteure die Entwicklungspfade vorantreiben können. Außerdem wurde über den Beitrag der Infrastrukturkopplungen zu Nachhaltigkeitstransformationen reflektiert.

Abstract

The innovation of coupled infrastructure can potentially support transformations towards sustainability and resilience. We reconstructed and analysed the development pathways of nine case studies of coupled infrastructure innovations in Germany to understand the development of coupled infrastructure innovations and to derive concrete guidelines for its support. This report presents the nine case studies – these include the exploitation of new energy sources (e.g. waste water and server heat), the establishment of virtual energy grids to adjust renewable energy production and consumption, the use of hydrogen for energy storage and energy generation and private care sharing.

The goal of the case studies was to identify factors that exert a critical (supporting and/or hindering) influence on the development of coupled infrastructure innovations. Rather than identifying isolated factors for success or failure, we described and analysed these factors in the context of their influence on the development path and the activities of actors to deal with the factors. In addition, we reflected on the contribution of the coupled infrastructure innovation to sustainability transformations as well as how the factors and activities have influenced this contribution.

drift for transition

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis v

Tabellenverzeichnis vi

Abküzungsverzeichnis viii

1. Einleitung 1

Fallstudien: Entwicklungspfade innovativer Infrastrukturkopplungen verstehen

2. Wärmeerzeugung aus Abwasser in der Kläranlage Waiblingen 6

Katharina Hölscher, Moritz Müller, Julia M. Wittmayer

3. Abwasserwärmenutzung in Köln im CELSIUS-Projekt 36

Martin Hirschnitz-Garbers, Katharina Hölscher

4. Serverabwärmenutzung in Hamm 78

Katharina Hölscher, Julia M. Wittmayer

5. Wohnen und Elektromobilität im Rosensteinviertel in Stuttgart 101

Moritz Müller, Katharina Hölscher

6. Solardorf in Norderstedt 135

Steffen Maschmeyer

7. Multi-Energie-Tankstelle H2BER am Flughafen Berlin-Brandenburg 179

Marius Hasenheit, Daniel Blobel

8. Hybridkraftwerke in Prenzlau 218

Stefanie Albrecht

9. Neue Stromwelten in den Alpen – das VPS Allgäu 258

Moritz Müller, Katharina Hölscher

10. Drivy - Car-sharing mit privaten Fahrzeugen via App 297

Mandy Hinzmann

11. Anhang 335

Anhang 1: Methodisches Vorgehen 335

Anhang 2: Interviewpartnerinnen und -partner pro Fallstudie 340

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Aufbau und Erkenntnisse des Analyserahmens für die Fallstudien innovativer Infrastrukturkopplungen	4
Abbildung 2:	Der Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage Waiblingen	8
Abbildung 3:	Klärgas-Blockheizkraftwerk in der Kläranlage Waiblingen	14
Abbildung 4:	Kompressionswärmepumpe in der Kläranlage Waiblingen	14
Abbildung 5:	Der Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln	38
Abbildung 6:	Schema der Funktionsweise von Abwasserwärmenutzung:	40
Abbildung 7:	Abwasserwärmepotentiale im Kölner Kanalnetz	43
Abbildung 8:	Direktverdampfer in Köln-Nippes, Standort Edith-Stein-Realschule	48
Abbildung 9:	Der Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in Hamm	79
Abbildung 10:	Die Server-Heizung versorgt ein komplettes Haus	85
Abbildung 11:	Der Entwicklungspfad des Rosensteinviertels in Stuttgart	103
Abbildung 12:	Baukonzept des Wohnquartiers	109
Abbildung 13:	Der Entwicklungspfad des Solardorfes in Norderstedt	140
Abbildung 14:	Schematische Übersicht der Multi-Energie-Tankstelle H2BER	181
Abbildung 15:	Schematischer Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur und Energieflüsse an der Multi-Energie-Tankstelle H2BER	182
Abbildung 16:	Der Entwicklungspfad der Multi-Energie-Tankstelle H2BER	183
Abbildung 17:	Schematische Darstellung der Untersuchungen des Rainer-Lemoine-Instituts	193
Abbildung 18:	Funktionsweise ENERTRAG Hybridkraftwerk	219
Abbildung 19:	Der Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau	221
Abbildung 20:	Hybridkraftwerk Prenzlau	231
Abbildung 21:	Elektrolyseanlage im Hybridkraftwerk	231
Abbildung 22:	Der Entwicklungspfad des VPS Allgäu	260
Abbildung 23:	Der Entwicklungspfad des Vermittlungsdienstes Drivy für Carsharing mit privaten Fahrzeugen via App	299

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die neun Fallbeispiele innovativer Infrastrukturkopplungen 2
Tabelle 2: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage Waiblingen 20
Tabelle 3: Akteure und ihre Rollen im Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage Waiblingen 25
Tabelle 4: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln 56
Tabelle 5: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln 65
Tabelle 6: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in Hamm 88
Tabelle 7: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad der Serverabwärmenutzung in Hamm 93
Tabelle 8: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des Rosensteinviertels in Stuttgart 117
Tabelle 9: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad des Rosensteinviertels in Stuttgart 125
Tabelle 10: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des Solardorfes in Norderstedt 158
Tabelle 11: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad des Solardorfes in Norderstedt 166
Tabelle 12: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Multi-Energie-Tankstelle H2BER 197
Tabelle 13: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad von H2BER 210
Tabelle 14: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau 238
Tabelle 15: Akteure und ihre Rollen im Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau 246
Tabelle 16: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des VPS Allgäu 279
Tabelle 17: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad des VPS Allgäu 288
Tabelle 18: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Carsharing-App Drivy 310
Tabelle 19: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad der Peer-to-Peer Carsharing-App Drivy 318
Tabelle 20: Interviewleitfaden 336
Tabelle 21: Analyserahmens zur Beschreibung und Analyse von Entwicklungspfaden innovativer Infra-strukturkopplungen 337
Tabelle 22: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Abwasserwärmeanlage in Waiblingen 340

Tabelle 23: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Abwasserwärmeanlage in Köln 340
Tabelle 24: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Serverabwärmeanlage in Hamm 340
Tabelle 25: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und –partner Rosensteinviertel in Stuttgart 340
Tabelle 26: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Solardorf Norderstedt 341
Tabelle 27: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Multi-Energie-Tankstelle H2BER 341
Tabelle 28: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Hybridkraftwerk Prenzlau 342
Tabelle 29: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner VPS Allgäu 342
Tabelle 30: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Carsharing-App Drivy 342

Abküzungsverzeichnis

AÜW	Allgäuer Überlandwerk GmbH
CO_2	Kohlenstoffdioxid
e-mobil	Baden-Württembergische Landesagentur für Innovation und Brennstoffzellentechnologie
EEG	Erneuerbares Energien Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbares Wärmegesetz
EnEV	Energie-Einspar-Verordnung
EnGW	Energiewirtschaftsgesetz
EU	Europäische Union
H_2	Wasserstoff
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
MLG	Multi-Level-Governance
MLP	Multi-Level-Perspektive
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NRW	Nordrhein-Westfalen
ÖPP	Öffentlich-private Partnerschaften
ÖPV	Öffentlicher-Personen-Verkehr
VPS	Virtual Power System
WIM	Wilczek Immobilien Management

1. Einleitung

Infrastrukturen spielen eine zentrale Rolle im Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen und klimaresilienten Gesellschaft. Sie wirken auf Umweltqualität und Ressourcenverbrauch und sind gekennzeichnet durch gesellschaftliche Anforderungen und Ansprüche. Gegenwärtig steht unter anderem aufgrund von erforderlichen Erneuerungsmaßnahmen, tiefgreifenden Nachhaltigkeitsproblematiken und Klimawandel eine Neugestaltung von Infrastrukturen an. Die Kopplung von Infrastrukturen gilt als eine Möglichkeit, um durch die Neugestaltung von Infrastrukturen zu gesellschaftlichen Transformationen in Richtung Nachhaltigkeit und Klimaresilienz beizutragen. Durch die Kopplung können Synergien zwischen inter- und intrasektoralen Funktionen geschaffen beziehungsweise genutzt werden – wie zum Beispiel die Erschließung neuer Energiequellen durch Kopplungen von Wärmeerzeugung mit Abwasser- oder Serverabwärme. Dies kann auch Synergien bezüglich Finanzierung und Umweltleistung ermöglichen – beispielsweise durch die Zusammenlegung von Finanzierungskapital oder durch Ressourceneffizienz (Brown 2014, Jonsson 2000, Karaca et al. 2015).
Um die Entwicklungen von innovativen Infrastrukturkopplungen zu verstehen und Handlungsmöglichkeiten für deren Unterstützung abzuleiten, wurden die Entwicklungspfade von neun umgesetzten innovativen Infrastrukturkopplungen nachgezeichnet, welche das Potenzial haben zu gesellschaftlicher Nachhaltigkeit und Klimaresilienz beizutragen. Das Ziel der Fallstudien war es, Faktoren zu identifizieren, die einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung und Umsetzung von gekoppelten Infrastrukturprojekten ausüben und diese unterstützen und/oder hemmen. Anstatt isolierte Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren zu benennen, wurden die Faktoren im Zusammenhang mit ihrer Wirkung auf den Entwicklungspfad und mit ihrem Umgang durch Handlungen von Akteuren beschrieben. Dies ermöglichte es zu erkennen, unter welchen Umständen die Faktoren Entwicklungen von gekoppelten Infrastrukturprojekten fördern oder hindern und durch welche Handlungen Akteure die Entwicklungspfade vorantreiben können. Außerdem wurde über den Beitrag der Infrastrukturkopplungen zu Nachhaltigkeitstransformationen reflektiert.
Dieser Bericht stellt die neun Fallstudien vor. In einem fallübergreifenden Vergleich wurden die Ergebnisse fallübergreifend konsolidiert und fallübergreifende Einflussfaktoren identifiziert (Hölscher et al. 2019). Hierduch konnten Ansatzpunkte und Handlungsoptionen für den Bund, kommunale und regionale Akteure aufgezeigt werden, mittels derer derer der Wandel zu nachhaltigen gekoppelten Infrastrukturen aktiv unterstützt werden kann.

Entwicklungspfade innovativer Infrastrukturkopplungen verstehen

Die Entwicklung von alternativen Infrastrukturen findet in Nischen statt. Nischen stellen Experimentierräume dar, in welchen Innovationen erarbeitet und getestet werden können (Raven et al. 2010). Nischeninnovationen können mittel- bis langfristig zu einer Systemtransformation führen. Eine Systemtransformation wird als grundlegende Veränderung des dominanten Regimes, das heißt der vorherrschenden Strukturen (zum Beispiel

Infrastrukturen, Wirtschaftsformen, Institutionen), Kulturen (zum Beispiel Wertevorstellungen) und Praktiken (zum Beispiel Routinen, tägliche Prozesse) (Rotmans und Loorbach 2010) definiert. Infrastrukturveränderungen können beispielsweise zu neuen Marktstrukturen, Dienstleistungsnachfragen, sozialen Innovationen oder Interaktionsformen zwischen Interessengruppen (zum Beispiel eine Überschneidung zwischen Nutzern und Dienstleistungsträgern) führen (Frantzeskaki und Loorbach 2010).
Um die bedeutenden Einflussfaktoren auf die Entwicklung innovativer Infrastrukturkopplungen zu identifizieren und Ansatzpunkte und Handlungsoptionen für verschiedene Akteure abzuleiten, wurden die Entwicklungspfade von neun weitgehend abgeschlossenen Fallbeispielen innovativer Infrastrukturkopplungen mit Nachhaltigkeitspotential aus systemischer Perspektive rekonstruiert, analysiert und verglichen. Ein Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung einer gekoppelten Infrastruktur von der Idee bis zum heutigen Stand. Durch den Blick auf den Entwicklungspfad einer Infrastrukturkopplung können wesentliche Umsetzungsschritte identifiziert werden. Einflussfaktoren auf diese Entwicklung können im Zusammenhang mit ihrer zeitlichen Wirkung auf den Entwicklungspfad und mit entstehenden Handlungsmöglichkeiten und -bedarfen beschrieben werden. Diese Herangehensweise erlaubt es auch die Gesamtwirkungen auf eine Nachhaltigkeitstransformation kritisch zu reflektieren.

Vorgehen: neun Fallbeispiele innovativer Infrastrukturkopplungen
Diese Studie umfasst neun Fallstudien von Entwicklungspfaden innovativer Infrastrukturkopplungen (siehe Hölscher et al. 2019 für die vollständige Beschreibung der Fallauswahl und des methodischen und analytischen Vorgehens). Die Fälle stellen reale, weitgehend abgeschlossene Fälle von innovativen Infrastrukturkopplungen mit Bezug zu Nachhaltigkeitstransformationen dar (Tabelle 1). Sie umfassen verschiedene Sektorkopplungen, wie beispielsweise Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung oder Energieversorgung und IKT.

Tabelle 1: Die neun Fallbeispiele innovativer Infrastrukturkopplungen

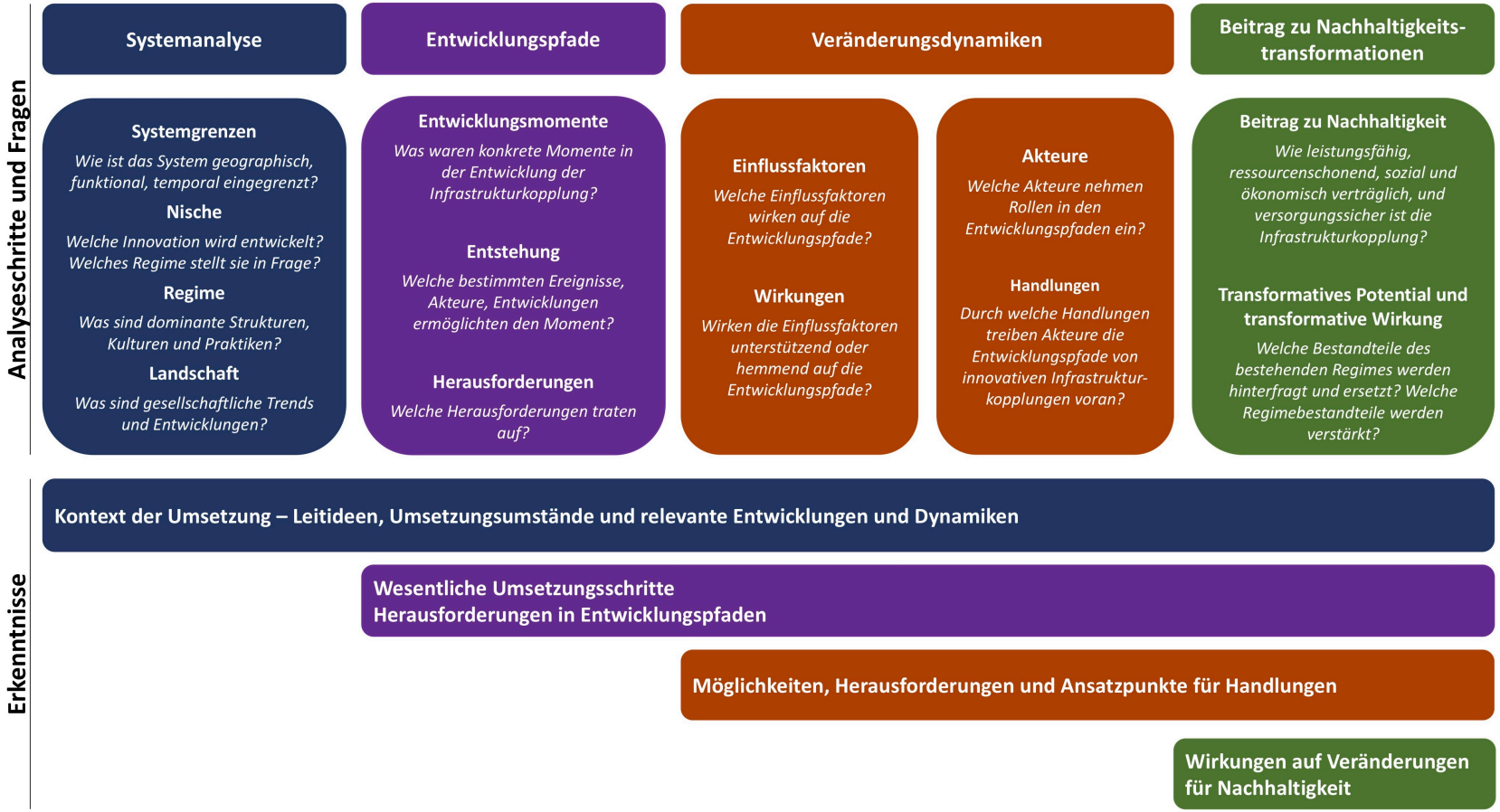
	Fallbezeichnung	Cluster
1	Abwasserwärmenutzung in Waiblingen	Alternative Energieerzeugung (Abwasserwärme)
2	Abwasserwärmenutzung in Köln	Alternative Energieerzeugung (Abwasserwärme)
3	Serverabwärmenutzung in Hamm	Alternative Energieerzeugung (Serverabwärme)
4	Wohnen & Elektromobilität im Rosensteinviertel Stuttgart	Alternative Energieerzeugung, Energiespeicherung (Elektromobilität)
5	Solardorf Müllerstraße in Norderstedt	Alternative Energieerzeugung, Energiespeicherung (Elektromobilität), intelligente Netze
6	Multi-Energie-Tankstelle H2BER	Alternative Energieerzeugung, Energiespeicherung
7	Hybridkraftwerk Prenzlau	Alternative Energieerzeugung, Energiespeicherung
8	VPS Allgäu	Energiespeicherung und intelligente Netze

	Fallbezeichnung	Cluster
9	Drivy – privates Car Sharing via App	Mobilität und IKT

Die Fallstudien basieren auf Literaturrecherche sowie Interviews (siehe Anhang 1.1 für den Interviewleitfaden und Anhang 2 für die Interviewpartnerinnen und -partner pro Fallstudie). Um die Vergleichbarkeit der Fallanalysen – welche von unterschiedlichen Forscherinnen und Forschern durchgeführt wurden – sicher zu stellen, wurde eine ausführliche Fallstudienvorlage entwickelt, so dass die Fallstudien anhand von einem festgelegten Format beschrieben werden. Um eine stimmige Interpretation der analytischen Konzepte und Fragestellungen aus dem Analyserahmen sicherzustellen, wurden interne Besprechungen und Diskussionen durchgeführt. Es wurde auch darauf geachtet, Freiraum für die Besonderheiten von Fällen zu schaffen.

Die Fallstudien wurden durch einen Analyserahmen geleitet (Hölscher et al. 2019). Dieser baut auf Konzepten und Erklärungsmodellen der Transitionsforschung auf, welche die Analyse, Erklärung und Unterstützung von radikalen gesellschaftlichen Umwandlungsprozessen in Richtung Nachhaltigkeit ermöglichen (Markard et al. 2012, Loorbach et al. 2017). So können innovative Infrastrukturkopplungen als Nischen innerhalb eines sozio-technischen Systems aufgefasst werden (Loorbach et al. 2010).
Der Analyserahmen ermöglicht einen dynamischen Blick auf die Umstände, zeitabhängigen Entwicklungen und Einflussfaktoren, die Handlungsmöglichkeiten von Akteuren sowie auf die Beiträge zu Nachhaltigkeitstransformationen. Er besteht aus vier parallel und iterativ ablaufenden Analyseschritten mit aufeinander aufbauenden Erkenntnissen (Abbildung 1). Die Systemanalyse benennt, beschreibt und analysiert die wesentlichen Bestandteile und Dynamiken des Systems, in welchem eine Infrastrukturkopplung entwickelt wird und auf dessen Regime sie einwirkt. Die Beschreibung des Entwicklungspfads rekonstruiert und beschreibt die wesentlichen Umsetzungsschritte einer Infrastrukturkopplung. Die Analyse der Veränderungsdynamiken untersucht die Einflussfaktoren und deren Wirkungen auf den Entwicklungspfad sowie die Handlungen von Akteuren um mit den Einflussfaktoren umzugehen. Die Analyse des Beitrages zu einer Nachhaltigkeitstransformation reflektiert die erzielten Beiträge der Infrastrukturkopplung zu Nachhaltigkeit und ihr transformatives Potential und ihre transformative Wirkung. Für eine detaillierte Übersicht der Analysefragen per Analyseschritt siehe Anhang 1.2 sowie Hölscher et al. (2019).

Abbildung 1 *Aufbau und Erkenntnisse des Analyserahmens für die Fallstudien innovativer Infrastrukturkopplungen*



drift for transition

Quellenverzeichnis

Brown, H. (2014): Next Generation Infrastructures. Principles for Post-Industrial Public Works. Island Press, Washington, DC.

Frantzeskaki, N. und Loorbach, D. (2010): Towards governing infrasystem transitions: Reinforcing lock-in or facilitating change? Technol. Forecast. Soc. Change, Issue includes a Special Section on “Infrastructures and Transitions” 77, 1292–1301. doi:10.1016/j.techfore.2010.05.004.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Jonsson, D. (2000): Sustainable Infrasystem Synergies: A Conceptual Framework. Journal of Urban Technology, 7(3): 81-104. doi:10.1080/713684136.

Karaca, F., Raven, P.G., Machell, J. und Camci, F. (2015): A Comparative Analysis Framework for Assessing the Sustainability of a Combined Water and Energy Infrastructure. Technological Forecasting and Social Change, 90: 456–68. doi:10.1016/j.techfore.2014.04.008.

Loorbach, D., Frantzeskaki, N. und Avelino, F. (2017): Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change. Annual Review of Environment and Resources, 42 (1).

Loorbach, D., Frantzeskaki, N. und Thissen, W. (2010): Introduction to the special section: Infrastructures and transitions. Technol. Forecast. Soc. Change, 77: 1195–1202. doi:10.1016/j.techfore.2010.06.001.

Markard, J., Raven, R. und Truffer, B. (2012): Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects, Research Policy, 41: 955-967.

Raven, R., van den Bosch, S. und Weterings, R. (2010): Transitions and strategic niche management: towards a competence kit for practitioners. Int. J. Technology Management, 51(1): 57-74.

Rotmans, J. und Loorbach, D. (2010): Towards a Better Understanding of Transitions and Their Governance: A Systemic and Reflexive Approach, in: Grin, J., Rotmans, J., Schot, J., Geels, F. (Hrsg.), Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change, Routledge Studies in Sustainability Transitions. Routledge, New York, NY, pp. 105–220.

2. Wärmeerzeugung aus Abwasser in der Kläranlage Waiblingen

Autorinnen und Autoren: Katharina Hölscher[1], Moritz Müller[1], Julia M. Wittmayer[1], Alfred Olfert[3], Jörg Walther[2], Martin Hirschnitz-Garbers[4], Steffen Maschmeyer[1]

1 Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
2 Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus-Senftenberg
3 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden
4 Ecologic Institut, Berlin

1 Einleitung

Im Jahr 1983 errichteten die Stadtwerke Waiblingen in der städtischen Kläranlage eine Anlage zur Erzeugung von Wärme aus Abwasser. Diese besteht einerseits aus einem Heizkraftwerk, welches das in einem Faulprozess bei der Abwasseraufbereitung anfallende Klärgas zur Wärmegewinnung nutzt. Zusätzlich wurde eine 2.500 kW leistende Absorptionswärmepumpe installiert, die bivalent im Erdgas- beziehungsweise Klärgasbetrieb lief, dem gereinigten Abwasser Wärme entzog und diese Wärme auf ein höheres Temperaturniveau hob. Im Rahmen weitgehender Modernisierungsmaßnahmen wurde in den Jahren 2002 bis 2004 die veraltete Absorptionswärmepumpe durch eine Kompressionswärmepumpe ersetzt und es wurde ein Klärgas-Blockheizkraftwerk installiert, das aus Klärgas Wärme und zusätzlich elektrische Energie für den Antrieb der neuen Wärmepumpe produziert. Mit der Abwasserwärmeanlage versorgen die Stadtwerke Waiblingen bis heute eine steigende Anzahl von Abnehmern – mittlerweile über 70 hauptsächlich öffentliche Gebäude – über ein Fernwärmenetz mit Wärme aus der Kläranlage.

Wir betrachten die Abwasserwärmeanlage in der Waiblinger Kläranlage zum Zeitpunkt ihrer ersten Umsetzung im Jahr 1983 als eine Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Abwasseraufbereitung und Energieversorgung in der Stadt Waiblingen. Folglich ergibt sich ein Analysefokus auf eine räumlich begrenzte Infrastrukturlösungen (in der Stadt Waiblingen), durch deren Kopplung eine alternative Infrastruktur (für Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung) auf lokaler Ebene entstand. Die Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung, waren während der Ideenentwicklung zur Abwasserwärmenutzung organisatorisch und räumlich getrennte Infrastrukturangebote. Die Infrastrukturkopplung in der Kläranlage wurde als innovative technische Lösung entwickelt und umgesetzt, um das bislang ungenutzte Potential von Abwasserwärme für Wärmegewinnung nutzbar zu machen. Die Anlage hatte somit das Potential, an Ressourceneffizienz beizutragen, die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas zu reduzieren, CO_2-Emissionen zu senken und an lokaler Energieautarkie beizutragen (Bartel 2012, 2016, mündlich, Stadt Waiblingen 2016). Somit kann sie auch einen Beitrag an einer lokalen Transformation hinsichtlich einer nachhaltigeren Energieversorgung leisten – ohne jedoch bestehende Systeme (wie zum Beispiel das städtische

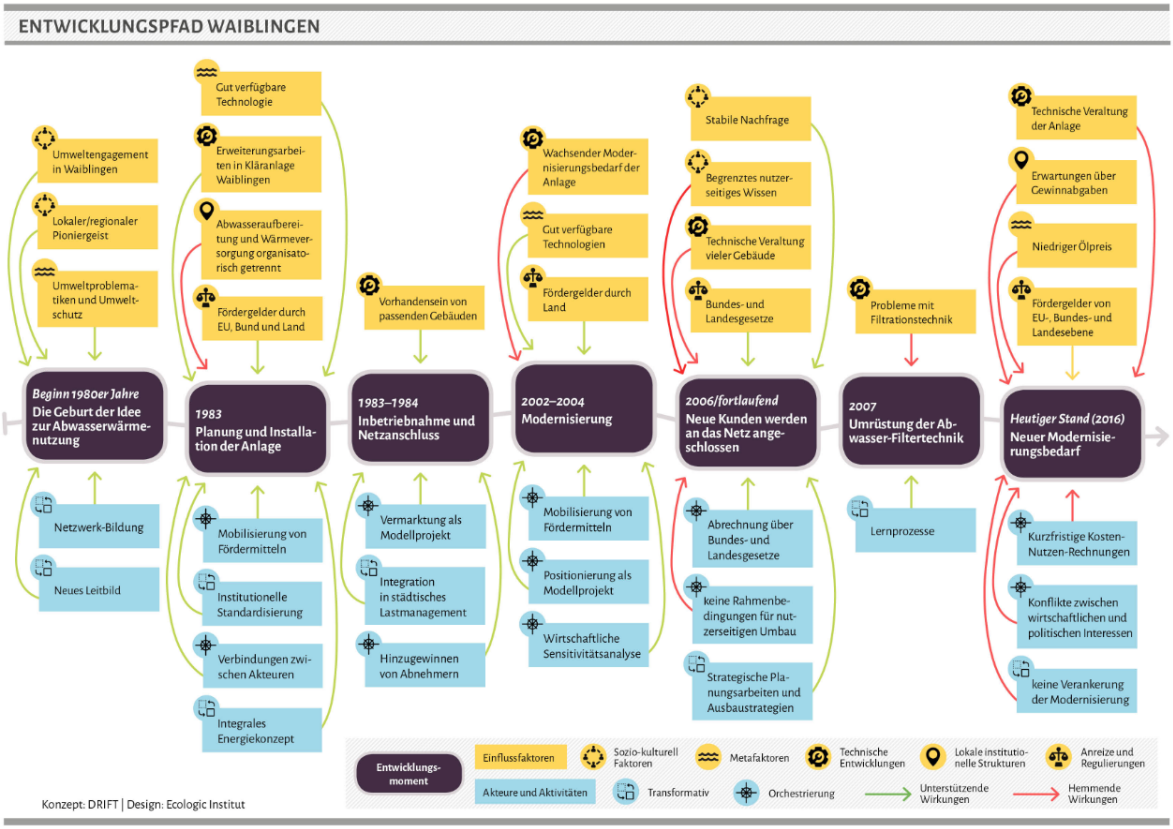
Wasserwirtschaftssystem samt Infrastrukturkomponenten wie Kläranlage) grundlegend zu hinterfragen.
Im Folgenden **beschreiben und analysieren wir den Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage in Waiblingen** von der Idee bis zum heutigen Stand. Das Vorgehen folgt unserem Analyserahmen für TRAFIS AP 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf zwei Interviews mit an dem Projekt beteiligten Akteuren und Akteurinnen (Anhang 2.1).[1] **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung festzustellen.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der akteursbezogenen Prozesse, um aufzuzeigen, durch welche Handlungen Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind den Entwicklungspfad vorangetrieben haben und welche Herausforderung bestehen. Darüber hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) der Abwasserwärmeanlage zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit die Infrastrukturkopplung an einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann.
Wir beschreiben zunächst den **Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung** von der Idee bis zum heutigen Stand (Abschnitt 2). Hierzu benennen wir die **wesentlichen Entwicklungsmomente** innerhalb des Entwicklungspfads sowie die diese Schritte beeinflussenden Faktoren. Im nächsten Schritt analysieren wir die **Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfads**: Welche Einflussfaktoren und akteursbezogenen Prozesse wirken sich auf die Entwicklungsmomente aus (Abschnitt 3). Zuletzt beschreiben wir den erzielten **Beitrag der Abwasserwärmenutzung an einer Nachhaltigkeitstransformation** (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im Folgenden stellen wir den Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage von der Idee bis zum heutigen Stand anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente vor. Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Abwasserwärmenutzung und Energieversorgung in der Stadt Waiblingen. Aufgrund der langjährigen Laufzeit der Anlage umfasst der Entwicklungspfad neben der ersten Planung und Installation auch die weitere Entwicklung, einschließlich Wartungs- und Modernisierungsarbeiten und Erweiterungen.
Abbildung 2 gibt eine visuelle Übersicht über die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfades und die wesentlichen Einflussfaktoren.

[1] Weil die erste Umsetzung der Abwasserwärmeanlage weit in der Vergangenheit zurückliegt, war es schwierig Interviewpartnerinnen und -partner zu identifizieren, welche an der damaligen Umsetzung mitgewirkt haben. Daher greifen wir auch auf Erkenntnisse aus einem Interview mit Ernst Müller zurück, einem Experten in Bezug auf die breitere Umsetzung von Abwasserwärmeanlagen insbesondere in der Schweiz und in Baden-Württemberg.

Abbildung 2: Der Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage Waiblingen



2.1 Entwicklungsmoment #1: Die Geburt der Idee zur Abwasserwärmenutzung (Anfang 1980er Jahre)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Die Abwasserwärmeanlage wurde mutmaßlich vom städtischen Gemeinderat in den frühen 1980er Jahren initialisiert (Bartel 2016, mündlich). Dieser hatte zu dieser Zeit bereits ein Interesse an Umweltfragen entwickelt und wollte die Erschließung von neuen, umweltfreundlichen Energiequellen fördern und möglicherweise ein Prestigevorhaben hierzu umsetzen. Diese Ideengeburt kann auch auf ein wachsendes Interesse an Umweltfragen auf regionalen, nationalen und globalen Ebenen, sowie der breiteren Entwicklung der Technologie zur Abwasserwärmenutzung zurückgeführt werden. Es ist wahrscheinlich, dass vordenkende Akteure im Gemeinderat und/oder den Stadtwerken die Abwasserwärmenutzung als technisch innovativ erkannt haben und ausprobieren wollten.

Im Mittelpunkt der Idee der Abwasserwärmenutzung stand das Ziel, das Potential der lokal vorhandenen und nachhaltigen Energie von Abwasserwärme und Klärgas aus der Schlammfäulung für die Raumheizung und Wassererwärmung verfügbar zu machen und somit an lokaler Energieautarkie beizutragen und CO_2-Emissionen für Raumheizung und Wassererwärmung zu senken (Bartel 2012, 2016, mündlich, Stadt Waiblingen 2016). Daraus entsprang das Vorhaben, in der Kläranlage Waiblingen eine Anlage zu entwickeln, welche aus

Abwasserwärme und Klärgas Wärme erzeugt und diese über ein (bisher nicht vorhandenes) Fernwärmenetz Gebäuden in der Stadt zur Verfügung stellt.
Zum Zeitpunkt der Entwicklung der Idee zur Abwasserwärmenutzung wurde Abwasser nicht als Wärmequelle verwendet; Abwasserbehandlung und Wärmeversorgung waren organisatorisch und räumlich getrennte Infrastrukturangebote. Die heutigen städtischen Eigenbetriebe Stadtwerke Waiblingen und Stadtentwässerung Waiblingen waren – noch bis zu den 1990er Jahren – Unterabteilungen der Stadt Waiblingen (Bartel 2016, mündlich). Abwasserbehandlung war bereits damals eine öffentliche Pflichtaufgabe mit dem Ziel der Entsorgung und Aufbereitung des als Ursache für Krankheiten und Umweltschäden bekannten Abwassers (BMUB 2013). Diese Aufgabe wurde oftmals durch Kläranlagen gewährleistet, welche Abwasser zentral sammeln und aufbereiten. Die Wärmeversorgung basierte in den 1980er Jahren in Deutschland vor allem auf Heizöl und Gas, wie auch elektrischer Heizung und zum Teil auch Kohle (Müller 2016, mündlich).
Nationale Gesetzgebungen gaben keine finanziellen Anreize, aber auch keine Hemmnisse, für die Umsetzung von Abwasserwärmenutzungsanlagen: Damalige nationale Regelungen zum Wärmeschutz von Gebäuden (zum Beispiel Wärmeschutzverordnung 1977 und Folgende) beschränkten sich auf die Festlegung bauteilbezogener Kenndaten für Neubauten, zum Beispiel der Festlegung maximal zulässiger Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern. Diese Verordnungen enthielten keine Anreize zur Einsparung von Primärenergie für den Wärmenutzer, die den Einsatz von regenerativer Energie honoriert hätten. Auf eine energieeffiziente Erzeugung von Wärme in Gebäuden zielte die Heizanlagenverordnung (ab 1978 ff). Im Fokus lagen primär Anlagenkenndaten, wie zum Beispiel die Vorgabe von Betriebstemperaturen oder die Begrenzung Abgaswärmeverluste. Weiterhin wurden bauliche Verbesserungen, zum Beispiel die Dämmung von Wärmeverteilleitungen Vorschrift. Später folgten Vorgaben zur Regelbarkeit von Heizkörpern (Thermostat) sowie eine Senkung der Kennwerte. Auch hier bestanden keine Anreize, aber auch keine Hemmnisse zur Verwendung regenerativer Energie, wie der Abwasserabwärme zur Beheizung von Gebäuden.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Wachsendes zivilgesellschaftliches Umweltengagement in der Stadt Waiblingen: In der Stadt Waiblingen entwickelten sich bereits seit den 1970er Jahren Gedanken und Ideen zum Thema Umweltschutz (Landratsamt Rems-Murr-Kreis 1998). Treibende Kraft in Sachen Umwelt waren zivilgesellschaftliche Verbände, oft Hand in Hand mit der Stadtverwaltung.
- Wachsendes politische Interesse an Umweltproblematiken: Akteure im Gemeinderat Waiblingen und den Stadtwerken entwickelten den politischen Willen ungenutzte, lokale Energiequellen zu erschließen. Dies spiegelte sich auch in einem frühen Interesse der Stadtwerke, sich in Umweltfragen zu engagieren; sie investierten bereits 1965 in Stromproduktion aus Wasserkraft (Kölbl 2014).
- Optimierungsdruck innerhalb des bestehenden Regimes: Es bestand wachsende Unzufriedenheit mit der konventionellen Energieversorgung in Waiblingen.
- (Technologischer) Pioniergeist: Die Stadt Waiblingen ist kulturell im Bundesland Baden-Württemberg angesiedelt, welches sich durch einen besonderen Pioniergeist auszeichnet

und in Bezug auf Wirtschaft und Technologiefortschritt positiv eingestellt ist (Kölbl, Müller 2016, mündlich).

- Wachsendes Bewusstsein über Umweltproblematiken und Interesse an Umweltschutz auf globalen, nationalen und regionalen Ebenen:
    - Seit den 1970er Jahren wuchs in den Industrienationen ein Bewusstsein für Umweltfragen, insbesondere hinsichtlich Luftverschmutzung; 1972 fand in Stockholm die erste UN-Umweltkonferenz statt. In Deutschland führte die 1969 ins Amt gekommene Bundesregierung unter Bundeskanzler Willy Brandt „Umweltpolitik" als neues Politikfeld ein und begann damit, Deutschland's Vorreiterrolle in der Umweltpolitik auszubauen (BPB 2009). Mitte der 1970er Jahren bildeten sich umweltpolitische Bürgerinitiativen als politische Kraft heraus. Zudem wurde Energie aufgrund der Energiekrisen in den 1970er Jahren zu einem zentralen globalen Thema. Die damalige Verknappung von Erdöl an den Weltmärkten führte zu einem wachsenden Bewusstsein über die Finanzierbarkeit und Verfügbarkeit von Energie (Kroll und Ehrhardt 2012).
    - Baden-Württemberg war ein Vorreiter zum Thema Umweltschutz in Deutschland. Schon in den 1970er Jahren war das Land Schauplatz der bundesweit ersten Umweltinitiativen, wie zum Beispiel der Bürgeraktion Umweltschutz Zentrales Oberrheingebiet (1971) oder die aus 21 Gruppierungen bestehenden badisch-elsässischen Bürgerinitiativen (1975) (Bundeszentrale für politische Bildung 2009; Umweltzentrum Karlsruhe 2016). Die Partei „Die Grünen" wurde in dem Land gegründet und das Land war das erste deutsche Bundesland in welchem diese Partei in den Landtag gewählt wurde (1980).
- Die Nutzung von Abwasserwärme zur Erschließung neuer Energiequellen entsteht als tragfähige Nutzungsvariante für Abwasserwärme: Die breitere Nischenentwicklung zur Abwasserwärmenutzung wurde – insbesondere in der Schweiz – seit den frühen 1980er Jahren durch Anlagen zum Entzug von Abwasserwärme innerhalb einer Liegenschaft, aus der Kanalisation und auf beziehungsweise nach der Kläranlage realisiert (Müller und Butz 2010, Müller 2016, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Der Gemeinderat entwickelte ein neues Leitbild zur Abwasserwärmnutzung basierend auf dem politischen Willen, neue Energiequellen zu erschließen.
- Der Gemeinderat bildete ein Netzwerk mit den Stadtwerken zur Ausarbeitung der Kopplungsidee.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Planung und Installation der Anlage (1983)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Die Stadtwerke Waiblingen übernahmen die Bauherrschaft in der weiteren Planung und Installation der Anlage zur Abwasserwärmenutzung. Im nächsten Schritt gaben sie ein integrales Energiekonzept in Auftrag, um die im Rahmen der Anlage gegebenen Möglichkeiten der

Nutzung der beiden erneuerbaren Energiequellen – Klärgas und Abwasser – zu untersuchen sowie Machbarkeit und Finanzierbarkeit aufzuzeigen (Bartel 2012). Auf der Basis der guten Ergebnisse dieser Untersuchungen begann im Jahr 1983 die konkrete Planung und Installation der Anlage im Zusammenhang mit den Erweiterungsarbeiten in der Waiblinger Kläranlage.
Es wurde eine 2.500 kW leistende Absorptionswärmepumpe installiert, die bivalent im Erdgas- beziehungsweise Klärgasbetrieb lief und die entzogene Wärme auf ein höheres Temperaturniveau hob. Zur Abdeckung von Spitzenlasten kamen zwei Kessel mit jeweils 3.500 kW zum Einsatz, die mit Erdgas befeuert wurden. Einer dieser Spitzenkessel erhielt zusätzlich eine zweite Gasrampe für Klärgas. So konnte das kontinuierlich anfallende Klärgas auch dann energetisch genutzt werden, wenn die Absorptionswärmepumpe zu Revisionszwecken abgeschaltet werden musste. Zusätzlich gab es eine Gasfackel, über die das Klärgas bei einem Komplettausfall der Technik kontrolliert abgeflammt werden konnte. Außerdem wurden ein 300 Kubikmeter fassender Klärgasspeicher und ein 80 Kubikmeter großer Pufferspeicher für das geplante Fernwärmenetz installiert.
Die durch die Anlage generierte Kopplung von Abwasseraufbereitung und Wärmegewinnung führte zu neuen Schnittstellen zwischen den Bereichen der Stadtwerke und der Städtentwässerung. Die Stadtwerke Waiblingen waren (beziehungsweise sind bis heute) für den Betrieb der Abwasserwärmeanlage verantwortlich. Sie sind hierzu eingemietet auf dem städtischen Gelände der Kläranlage, welches durch die städtische Abteilung (heute Eigenbetrieb) Stadtentwässerung betrieben wurde (beziehungsweise wird). Dadurch überschneiden sich unterschiedliche Organisationsstrukturen: Schnittstellen betreffen die Organisation der Leitung des warmen Wassers der Kläranlage durch die Wärmepumpe zur Wärmegewinnung sowie die Rückführung des abgekühlten Wassers an die Stadtentwässerung (Bartel 2016, mündlich). An einer weiteren Schnittstelle werden das Klärgas und der Klärschlamm von den Stadtwerken übernommen und den Stadtwerken in Rechnung gestellt (ebd.).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Notwendigkeiten zu Erweiterungsarbeiten in der Kläranlage Waiblingen: 1983 wurden umfangreiche Erweiterungen der Kläranlage Waiblingen notwendig.
- Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung als organisatorisch und räumlich getrennte Infrastrukturangebote:
- Unterstützung der Finanzierung der Abwasserwärmeanlage als Modellprojekt durch Fördermittel des Wirtschaftsministeriums des Landes Baden-Württemberg, des Bundesministeriums für Forschung und Technologie sowie der Europäischen Gemeinschaft..
- Preisentwicklungen anderer Energieträger senken die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung: Die Erzeugung von Wärme aus Abwasser hat sich damals noch nicht gerechnet. Trotz der Ölkrisen in den 1970er Jahren und konstant steigender Preise für Heizöl waren Öl und Gas in den 1980er Jahren in der Anschaffung vergleichsweise preiswert und daher viel günstiger als Wärmepumpen (Müller 2016, mündlich).
- Gut verfügbare innovative Technologie und innovativer Einsatz aufgrund der breiteren Nischenentwicklung: In der Projektplanung konnte auf die bereits entwickelte Technologie,

bspw. von Wärmetauschern und Wärmepumpen, zurückgegriffen werden. Diese hat geholfen, die Technologie und den Markt zur Abwasserwärmenutzung in Deutschland zu entwickeln (Müller 2016, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Entwicklung eines integralen Energiekonzeptes und Gesamtkonzeptes für die Abwasserwärmenutzungsanlage zum Aufzeigen der Machbarkeit und Finanzierbarkeit: Die Stadtwerke gaben im Zusammenhang mit der Idee und der Arbeiten an der Kläranlage die Planung eines integralen Energiekonzeptes in Auftrag (Bartel 2012). Zusammen mit den Betreibern des Klärwerks wurde überlegt, wie das anfallende Klärgas und das Abwasser möglichst effizient als Energierohstoffe nutzen lassen. Die Untersuchungen beinhalteten eine umfassende Bewertung der verfügbaren Abwärme- und Klärgaspotentiale in der Kläranlage Waiblingen sowie eine Analyse der Nutzungsmöglichkeiten und Finanzierbarkeit. Ein weiterer zentraler Bestandteil des integralen Energiekonzepts waren die Suche nach potenziellen Wärmesenken und die Planung der notwendigen Fernwärmeleitungen.
- Netzwerkbildung zur Ausarbeitung des Energiekonzeptes: Alle beteiligten Akteure müssen mitgenommen werden. Beispielsweise sind die Kläranlagen- oder auch die Kanalbetreiber zwar nicht unmittelbar betroffen, müssen aber mitgenommen werden. Diese haben „eigentlich nicht direkt einen Profit, [und] manchmal auch ein bisschen Angst, wenn da Wärmetauscher im Kanal [installiert werden], und so weiter“ (Müller 2016, mündlich).
- Die Erweiterungsarbeiten in der Kläranlage Waiblingen konnten mit der Umsetzung der Abwasserwärmeanlage verbunden werden.
- Standardisierung von neuen Strukturen und Praktiken: Innerhalb der bestehenden Bereichen der Stadtwerke und der Stadtentwässerung wurden neue organisatorische Schnittstellen geschaffen für beispielsweise die Abrechnung der Nutzung des Geländes der Kläranlage sowie des Klärgases und Klärschlammes.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Inbetriebnahme und Netzanschluss (1983-1984)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Im Sommer 1983 ist die Anlage zur Wärmegewinnung aus Abwasserwärme und Klärgas in Betrieb gegangen, 1984 wurden die ersten (öffentlichen) Abnehmer an das Fernwärmenetz angeschlossen. Das Kreiskrankenhaus Waiblingen, das Bürgerzentrum, das Rathaus und das Waiblinger Hallenbad waren unter den ersten Abnehmern. Diese Abnehmer zeichneten sich durch einen relativ gleichmäßigen Warmwasserbedarf aus, wodurch die Grundlast des Heizkraftwerkes in der Kläranlage auf kontinuierlich hohem Niveau gehalten werden konnte (Bartel 2012).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Vorhandensein von öffentlichen Gebäuden, welche den Bedingungen für den Anschluss an das Fernwärmenetz entsprechen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden Gebäude mit einem großen Wärmebedarf favorisiert (Mueller und Butz 2010).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Identifizierung und Hinzugewinnen von Abnehmern der Abwasserwärme, möglicherweise im Zusammenhang mit der Vermarktung der Anlage als Modellprojekt.
- Integration der Abwasserwärme in das städtische Lastmanagement und Aufbau von langfristigen Lieferbeziehungen.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Modernisierung (2002-2004)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Zwischen 2002 und 2004 im Rahmen von weitgehenden Modernisierungsmaßnahmen der Abwasserwärmenutzungsanlage die Anlagentechnik ausgetauscht. Diese Maßnahmen wurden aufgrund zunehmend hoher Instandhaltungskosten, Störanfälligkeit und Schwierigkeiten bei der Ersatzteilversorgung notwendig (Bartel 2012). Sie wurden von den Stadtwerken Waiblingen geplant und umgesetzt. Obwohl der Gemeinderat mit der Abwasserwärmenutzung in der Kläranlage weiterhin politisch das Zeichen setzen wollte klare Umwelt- und Klimaziele zu verfolgen, und so an der Modernisierung interessiert war, bestand eine Herausforderung darin, die Wirtschaftlichkeit der Modernisierung zu gewährleisten. Insbesondere die finanzielle Förderung durch das landesweite „Klimaschutz – Plus“ unterstützte die Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Anlage.

Die veraltete Absorptionswärmepumpe wurde durch eine Kompressionswärmepumpe ersetzt. Es wurde außerdem ein Klärgas-Blockheizkraftwerk (BHKW) installiert, das aus Klärgas Wärme und zusätzlich Strom für den Antrieb der Wärmepumpe produziert (Abbildung 3). Es wurde außerdem eine elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpe installiert (Abbildung 4) und ein 63 Kubikmeter fassender Heizöltank errichtet, um zukünftig die Anlage bivalent betreiben zu können. Dies erleichterte den Stadtwerken das Lastmanagement bei der Gasversorgung. Die alte Zwei-Kesselanlage wurde mit drei wahlweise mit Erdgas oder Heizöl zu betreibenden Spitzenlastkesseln ausgetauscht – und einem neuen Erdgas-BHKW. Rund 3,4 Millionen kWh Wärme und knapp 2,7 Millionen kWh Strom werden erzeugt. Die bauliche Anpassung war vergleichsweise gering. Die neuen Anlagen konnten an bestehende Infrastrukturen angebunden werden. In den ersten Monaten des Betriebs der neuen Wärmepumpe wurden die im üblichen Rahmen auftretenden kleineren Probleme beseitigt (Bartel 2012).

Der Rückbau des ursprünglich vorhandenen 80 Kubikmeter-Pufferspeichers im Laufe der Modernisierung muss aus heutiger Sicht als Nachteil bewertet werden (Bartel 2012). Der erforderliche Mindestvolumenstrom auf der Warmwasserseite der Wärmepumpe kann im Schwachlastbetrieb nicht immer vom Fernwärmenetzrücklauf gedeckt werden. Dann wird der Wärmepumpe die fehlende Wassermenge über eine interne Rücklaufanhebung zugeführt. Dies wiederum hebt die Zulauftemperatur zur Wärmepumpe an und drückt damit die Arbeitszahl weiter nach unten.

Abbildung 3: Klärgas-Blockheizkraftwerk in der Kläranlage Waiblingen



Quelle: Bartel (2012; S. 55) „Klärgas-Blockheizkraftwerk“

Abbildung 4: Kompressionswärmepumpe in der Kläranlage Waiblingen



Quelle: Bartel (2012; S. 56) „Kompressionswärmepumpe“

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Wachsender Modernisierungsbedarf der Abwasserwärmeanlage: Zunehmend hohe Instandhaltungskosten, Störanfälligkeit, Schwierigkeiten bei der Ersatzteilversorgung und ein stetig steigender Bedarf beim Personaleinsatz machten nach knapp zwanzig Jahren einen Austausch der kompletten Anlage erforderlich (Bartel 2012; Schinnerl et al. 2007).
- Gut verfügbare alternative Technologien für die Modernisierung.
- Finanzielle Förderung durch das Land Baden-Württemberg: Die Kompressionswärmepumpe und das BHKW wurden finanziell mit Tilgungszuschüssen aus dem kommunalen CO_2-Minderungsprogramm „Klimaschutz – Plus“ des Landes Baden-Württemberg gefördert[2].

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Wirtschaftliche Sensitivitätsanalyse zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit der Modernisierung der Anlage: Es musste klargestellt werden, wie der Strom vermarktet werden kann und ob der verbrauchte Strom der Wärmepumpe dem erzeugten Strom des BHKW zugerechnet werden kann. Der Verbrauch der strombetriebenen Kompressionswärmepumpe stimmt ungefähr mit dem in dem klärgasbetriebenen BHKW erzeugten Strom überein – dadurch braucht die Anlage keinen Strom aus externen Quellen (Bartel 2016, mündlich).
- Politisches Interesse des Gemeinderates an der Vermarktung der Abwasserwärmeanlage als Modellprojekt im Rahmen der städtischen Nachhaltigkeits- und Klimastrategien: Das wachsende und sich etablierende umweltpolitische Interesse der Stadt Waiblingen treibt die Modernisierung der Anlage voran, da sie als ein Modellprojekt in diesem Rahmen gilt.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Neue Kunden werden an das Netz angeschlossen (2006 und fortlaufend)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Seit der Inbetriebnahme der Anlage wurden immer mehr Kunden an das Fernwärmenetz der Kläranlage angeschlossen und so mit Abwasserwärme versorgt. Die Neugewinnung von Kunden wird insbesondere durch die Akquisetätigkeiten der Stadtwerke Waiblingen sichergestellt, und durch Bundes- und Landesgesetze unterstützt, welche die finanzielle AttrHandlung der Abwasserwärme für Kunden begünstigen.

Im Jahr 2006 kamen die Galerie Stihl Waiblingen und die angrenzende Kunstschule Unteres Remstal als Abnehmer der Wärme aus der Kläranlage hinzu.[3] Erstere wird nicht nur mit Heizwärme, sondern auch mit Prozesswärme für die Klimaanlage versorgt. Prozesswärme unterscheidet sich von Fernwärme zur Beheizung durch das Temperaturniveau, dem Zeitpunkt den Zeitraum der Lieferung. Wärmebetriebene Klimaanlagen benötigen in den Sommermonaten

[2] Über das Klimaschutz-Plus-Förderprogramm werden je eingesparter Tonne CO_2 ein Betrag von 50 Euro ausgezahlt (Ecofys Germany GmbH et al. 2013).

[3] Obwohl die Hinzugewinnung neuer Kunden fortlaufend ist, wird hier 2006 als Zeitpunkt für diesen Entwicklungsmoment aufgenommen. Dies ist der uns vorliegende einzig konkret kommunizierte Zeitpunkt hinsichtlich eines neuen Kundenanschlusses.

Wärme auf einem meist hohen Wärmeniveau. Das kommt dem Wärmelieferanten entgegen, da Sommer eine absatzschwache Zeit darstellt.
Durch die neuen Abnehmer konnte der Wegfall des Kreiskrankenhauses als Abnehmer der Wärme aus der Kläranlage kompensiert werden – das Krankenhaus war baufällig und wurde abgerissen (Bartel 2016, mündlich). Auf dem ehemaligen Gelände des Kreiskrankenhauses wurde ein Neubaugebiet errichtet. Da schon alle wesentlichen Fernwärmeanschlüsse gelegt waren, war es naheliegend, das Neubaugebiet an das Fernwärmenetz anzuschließen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Begrenztes nutzerseitiges Wissen über die Vorteile und Nutzen von Abwasserwärme und Fernwärme.
- Technische Veraltung der Gebäude hemmen den weiteren Ausbau der Abwasserwärmenutzung: Herausforderungen bestehen unter anderem darin, dass viele Gebäude technisch sehr veraltet sind (Bartel 2012, 2016, mündlich). Bei dem Anschluss ist das nicht so problematisch, allerdings führt das zu Problemen der Energieeffizienz. Gerade bei Bestandsgebäuden müssen die beiden Komponenten Haustechnik und Fernwärme aufeinander abgestimmt werden.
- Gesetze auf Bundes- und Landesebenen begünstigen die Vermarktung der Abwasserwärme: „Gesetze kompensieren einiges, was sonst an der Fernwärme [im Vergleich zu Öl, Gas etc.] teurer ist.“ (Bartel 2016, mündlich). Zudem ist ein Fernwärmeanschluss im Vergleich zu der lokalen Erzeugung von regenerativen Energien am Haus oft wesentlich einfacher und billiger (ebd.).
    - Das erneuerbare Wärmegesetz des Landes Baden-Württemberg unterstützt die Nutzung der Fernwärme. Unter anderem erfordert das Gesetz, dass selbst bei Bestandsbauten, bei denen die Kesselanlage erneuert wird, ein gewisser Anteil der Wärme regenerativ erzeugt werden muss. Wenn die Fernwärme eine gewisse primärenergetische Qualität besitzt, dann gilt es als Ersatzmaßnahme im Rahmen dieses Gesetzes.
    - Die Baugesetze von Neubauten sind mittlerweile so streng, dass die Integration von Energiequellen in Gebäuden sehr komplex – und auch teuer – geworden ist. Da ist die unkomplizierte Fernwärme oft eine gute Alternative.
    - Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG): Seit 1.1.2009 ist Abwasserwärme als Ersatzmaßnahme für die regenerative Beheizung von Neubauten aufgenommen (Deutscher Bundestag 2008).
    - Mit der Veröffentlichung der Energieeinsparverordnung 2002 wurden Heizanlagenverordnung und Wärmeschutzverordnung zusammengeführt. Seitdem besteht nutzerseitig der Anreiz, Systeme mit regenerativer Energie nachzufragen.
- Konkurrenz mit anderen Energieträgern und -versorgern (Bartel 2016, mündlich): Der Vertrieb der Abwasserwärme steht in (wirtschaftlicher) Konkurrenz mit anderen Energieträgern. Die Stadt greift nicht in den Wettbewerb ein.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Akquisetätigkeiten und Ausbaustrategien der Stadtwerke, um Nutzer über die Abwasserwärmenutzung aufzuklären und für sie zu gewinnen: Viele Menschen verstehen die Vorteile und Wirtschaftlichkeit von Fernwärme (gegenüber anderen Energieträgern) nicht, weil sie generell nicht viel über Wärmeversorgung wissen. Deshalb müssen die Stadtwerke sehr aktiv Akquise betreiben und detaillierte Strategien entwickeln, in denen ungenutztes Marktpotenzial erfasst wird. Sie erarbeiten außerdem Ausbaustrategien (Bartel 2016, mündlich): wo ist eine Verdichtung und Erweiterung des Netzes technisch und wirtschaftlich sinnvoll.

2.6 Entwicklungsmoment #6: Umrüstung der Abwasser-Filtertechnik

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Im Jahr 2007 bestand die Notwendigkeit einer weiteren technischen Umrüstung in der Abwasserwärmeanlage. Eine Besonderheit der Waiblinger Anlage besteht darin, dass dem Abwasser die Wärme nicht in einem Zulaufkanal zur Kläranlage entzogen wird. Das bereits gereinigte Abwasser wird aus dem Auslauf zur nahegelegenen Rems direkt auf der Kaltwasserseite der Wärmepumpe genutzt. Dieses Wasser muss noch einmal gefiltert werden, um den Wärmeüberträger der Wärmepumpe nicht langfristig zu verschmutzen. Im Jahr 2007 wurde die Filtration des Abwassers, welches für die Wärmepumpe genutzt wird, auf einen Beutelfilter umgerüstet. Diese neue Filtration vereinfacht die technische und manuelle Instandhaltung der Anlage. Bei dieser Anlage werden insgesamt vier Filterstrümpfe parallel vom Abwasser durchströmt; bei Überschreiten eines gewissen Differenzdrucks meldet die Wärmepumpe mangelnde Durchströmung. Dies zeigt dem Bedienpersonal, dass die Filterstrümpfe getauscht werden müssen. Dieser Vorgang dauert lediglich zehn Minuten. Die verschmutzten Filterstrümpfe können unter dem Wasserhahn gereinigt und zwei- bis dreimal wiederverwendet werden (Bartel 2012).
Die Erfahrungen mit der neuen Filtertechnik zeigen insbesondere langfristig verschiedene Herausforderungen auf (Bartel 2012, 2016, mündlich). Im Gesamten hat sich die Umrüstung als technisch nicht sinnvoll erwiesen (Bartel 2016, mündlich). Dies liegt vor allem an den Tücken des nachbehandelten Klärwassers, welches zu Biofilmverschlammungen von den Wärmetauscherflächen führt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:
- Probleme mit der alten Filtrationstechnik: Bis 2007 erfolgte die Nachreinigung des Abwassers durch einen Automatik-Rückspülfilter. Diese Filtration funktionierte technisch gut, aber im Revisionsfall stand die Wärmepumpe oft wochenlang still, da die Filterelemente nur manuell gereinigt werden konnten. Zudem waren entsprechende Ersatzteile für den Automatikfilter nicht mehr verfügbar.
- Marktwirtschaftliche Überlegungen: Der Ersatz für verbrauchte Filtereinsätze der Beutelfilter ist herstellerunabhängig und preiswert am Markt verfügbar (Bartel 2012).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Standardisierung von Lernprozessen über technische Funktionsweisen und Kompromissfindungen: Die Umrüstung der Abwasser-Filtertechnik steht für das allgemeinere Management der Abwasserwärmeanlage, welches standardisiert abläuft. In der Phase der Umstellung zum neuen Filter liefen Versuche mit unterschiedlichen Filtergraden von 50 bis 600 Mikrometern. Einerseits sollte die Filtration möglichst effektiv sein und damit einhergehend maximalen Maschinenschutz bieten. Andererseits sollte das Reinigungsintervall für den Vorfilter möglichst weit gestreckt werden.

2.7 Heutiger Stand

Beschreibung des heutigen Stands der Abwasserwärmeanlage:
Durch das angeschlossene Nahwärmenetz versorgt die Kläranlage mit ihrer Wärme heute insgesamt mehr als 70 öffentliche und private Hausanschlüsse; 10.000.000 kWh Wärme werden pro Jahr verkauft (Bartel 2016, mündlich). Die Anlage zur Abwasserwärmenutzung steht jedoch vor einer ungewissen Zukunft: Die Anlage ist veraltet – ihr Betrieb wird zwar noch aufrechterhalten, aber die Wärmepumpe läuft nicht mehr gut und die CO_2-Bilanz der Anlage geht gegen null (ebd.). Eine Modernisierung der Anlage wäre sehr teuer. Es sind technische und wirtschaftliche Planungen notwendig, um die Wirtschaftlichkeit und Möglichkeiten einer Modernisierung festzustellen: Wo besteht Ausbaupotential und wo kann das Angebot mit möglichst wenig Baumaßnahmen verbessert werden.

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:
- Technische Veraltung reduziert die Effizienz der Anlage und erfordert Umbaumaßnahmen, auch auf der Verbraucherseite.
- Zu kurzfristige Kosten-Nutzen-Rechnungen der Stadtwerke Waiblingen mindern die Wirtschaftlichkeit der Anlage und der erzeugten Abwasserwärme.
- Konflikte zwischen den politischen Interessen des Gemeinderates und den wirtschaftlichen Interessen der Stadtwerke: Die Stadtwerke sind zu jährlichen Gewinnabgaben an die Stadt verpflichtet. Diese sind implizit vorgegeben und würden durch die Investition in eine Modernisierung reduziert. Trotz des politischen Interesses des Gemeinderates ist dieser Konflikt von überschneidenden Erwartungen nicht gelöst.
- Fördergelder von EU-, Bundes- und Landesebene können Modernisierung begünstigen: Es gibt Fördergelder auf EU, Bundes- und Landesebene, die eine Modernisierung der Anlage begünstigen könnten. Allerdings ist es schwierig und arbeitsintensiv, diese Fördermittel auch wirklich zu bekommen (Bartel 2016, mündlich).
- Der günstige Ölpreis mindert die Rentabilität der Abwasserwärmenutzung: Das Öl ist gerade sehr billig, welches die (kurzfristige) Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebes und einer Modernisierung verringern (Bartel 2016, mündlich, Müller 2016, mündlich).

Der heutige Stand wird von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:
- Umweltpolitischer Druck der Stadt Waiblingen auf die Modernisierung der Anlage: Die Abwasserwärmeanlage wird im Allgemeinen als Modellprojekt der Stadt im Rahmen der politischen Nachhaltigkeitsstrategie präsentiert. Seit 1995 gehört Waiblingen dem

Klimabündnis der europäischen Städte an, seit 2004 nimmt die Stadt teil an den European Energy Awards – einem internationalen Zertifizierungsverfahren, das die Leistungen von Kommunen in der Energie- und Klimapolitik vergleicht. 2007 bekam die Stadt den European Energy Award in Silber. Politischer Wille und Druck kann die Stadtwerke Waiblingen Antreiben, Investitionen in die Modernisierung zu tätigen (zum Beispiel um die Goldmedaille beim Energy-Award zu erhalten). Die Stadt würde dies allerdings nicht finanziell unterstützen.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung ist durch vielzählige Veränderungsdynamiken zwischen Einflussfaktoren aus dem Kontext des Systems, in welchem die Abwasserwärmeanlage umgesetzt wurde, und akteursbezogenen Prozessen gekennzeichnet. Im Folgenden untersuchen wir zunächst die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während der Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind, und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Entwicklungspfad. Daraufhin analysieren wir die Handlungen der unterschiedlichen Akteure, und wie diese mit den Einflussfaktoren umgegangen sind. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken während der Entwicklungsmomente – den Einflussfaktoren und deren Wirkungen sowie der Akteure und Handlungen.

Tabelle 2: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage Waiblingen

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Die Geburt der Idee zur Abwasserwärmenutzung (Beginn 1980er Jahre)	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Wachsendes Umweltengagement in Waiblingen	Unterstützend: treibt Interesse an der Erschließung alternative Energiequellen	Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ): Der Gemeinderat entwickelt ein neues Leitbild zur Abwasserwärmenutzung Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ): Bildung eines Netzwerkes mit den Stadtwerken als zentraler Akteur zur Ausarbeitung der Kopplungsidee
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Pioniergeist in Waiblingen und Baden-Württemberg	Unterstützend: treibt Interesse an dem Ausprobieren von technischen Innovationen	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): steigende Umweltproblematiken, Ölkrise, wachsende Diskurse zu Umweltschutz	Unterstützend: treibt (politisches, gesellschaftliches) Interesse an der Erschließung alternativer Energiequellen	
#2: Planung und Installation der Anlage (1983)	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Gut verfügbare Technologie zur Nutzung von Abwasserwärme durch breitere Nischenentwicklung	Unterstützend: bietet tragfähige Alternative für Energiegewinnung und Umsetzungsmöglichkeit zur Nutzung von Abwasserwärme	Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ): Die Stadtwerke erarbeiten mit externen Experten (EnBW) und den Betreibern des Klärwerkes ein integrales Energiekonzeptes zur umfassenden Bewertung und Planung
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Notwendigkeiten zu Erweiterungsarbeiten in der Kläranlage Waiblingen	Unterstützend: ermöglicht die Anbindung der Anlageninstallation an die Erweiterung der Kläranlage	Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung): Anbindung der Abwasserwärmeanlage an die Erweiterung der Kläranlage Waiblingen
	Lokale institutionelle Strukturen: Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung als organisatorisch und räumlich getrennte Infrastrukturangebote	Hemmend: keine Zusammenarbeit wesentlicher Akteure und möglicherweise Skepsis an der neuen Technologie und Kopplung	Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung): Der Gemeinderat stellt Verbindungen zwischen Akteuren her (zum Beispiel zwischen Stadtwerken und Stadtentwässerung) Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ): Standardisierung von neuen Strukturen und Praktiken durch die Bildung neuer organisatorischer Schnittstellen zwischen Städtentwässerung und Stadtwerken
	Anreize und Regulierungen: Förderung der Anlage als Modellprojekt durch EU-, Bundes- und Landesfördermittel	Unterstützend: stellt finanzielle Förderung zur Umsetzung der Anlage bereit	Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Gewinnung finanzieller Förderung von EU, Bund- und Landesebene

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#3: Inbetriebnahme und Netzanschluss (1983-1984)	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Vorhandensein von (öffentlichen) Gebäuden, die den Bedingungen für den Anschluss an das Fernwärmenetz entsprechen	Unterstützend: Gewinnung und Anschluss von Abnehmern der Abwasserwärme	Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung): Identifizierung und Hinzugewinnen von Abnehmern der Abwasserwärme: große, öffentliche Gebäude Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ): Integration in städtisches Lastmanagement und Aufbau von langfristigen Lieferbeziehungen Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ): Vermarktung der Innovation als Modellprojekt
#4: Modernisierung (2002-2004)	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Wachsender Modernisierungsbedarf der Anlage	Hemmend: vermindert die Effizienz und Tragfähigkeit der Abwasserwärmeanlage	Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Wirtschaftliche Sensitivitätsanalyse zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit der Modernisierung der Anlage Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung): Der Gemeinderat positioniert die Abwasserwärmeanlage als zentrales Modellprojekt innerhalb der städtischen Nachhaltigkeitsstrategie und übt umweltpolitischen Druck aus hinsichtlich der Notwendigkeit einer Modernisierung der Anlage Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Mobilisierung von Fördermitteln des Landes Baden-Württemberg für die Modernisierung
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Gut verfügbare alternative Technologien für die Modernisierung	Unterstützend: bietet umsetzbare Möglichkeiten für eine Modernisierung und allgemeine Verbesserung der Anlage	
	Anreize und Regulierungen: Finanzielle Förderung der Modernisierung durch das Baden-Württembergische Förderprogramm „Klimaschutz – Plus“	Unterstützend: stellt finanzielle Förderung zur Umsetzung der Modernisierung bereit	
#5: Neue Kunden werden an das Netz angeschlossen (2006 und fortlaufend)	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Stabiles Interesse an der Nutzung von Abwasserwärme auf Verbraucherseite	Unterstützend: Gewinnung neuer Kunden und somit auch stabil bleibende Nachfrage und Effizienz der Anlage	Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ): Information durch die Stadtwerke über die (wirtschaftlichen) Vorteile der generierten Wärme/Gewinnung von Neukunden Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ): Strategische Planungsarbeiten und Ausbaustrategien der Stadtwerke zum Ausbau der Abnehmer
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Begrenztes nutzerseitiges Wissen über die Vorteile von Abwasserwärme und Fernwärme	Hemmend: mindert die Nachfrage an Abwasserwärmenutzung	
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Technische Veraltung vieler Gebäude	Hemmend: mindert die Effizienz der Abwasserwärmenutzung und erfordert Umbaumaßnahmen auf der Verbraucherseite	Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Es bestehen keine Rahmenbedingungen für technische Umbaumaßnahmen auf Nutzerseite

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Gesetze auf Bundes- und Landesebenen zur Förderung von Abwasserwärme	Unterstützend: verbessert die Vermarktungsmöglichkeiten von Abwasserwärme	Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Die Stadtwerke rechnen die generierte Wärme über Bundes- und Landesgesetze ab, welche die Wirtschaftlichkeit erhöhen
#6: Umrüstung der Abwasser-Filtertechnik (2007)	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Probleme mit der alten (und neuen) Filtrationstechnik	Hemmend: erodiert die Anlagentechnik – das nachbehandelte Klärwasser führt zu Biofilmverschlammung von den Wärmetauscherflächen	Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ): Die Stadtwerke standardisieren und passen Praktiken und Lernprozesse über technische Bedingungen (zum Beispiel zur Wartung der Anlage) an
Heutiger Stand (2016): neuer Modernisierungsbedarf	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Technische Veraltung der Anlage	Hemmend: vermindert die Effizienz und CO2-Bilanz der Abwasserwärmeanlage	Herausforderungen für Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ): Fortdauernde Modernisierung der Anlage ist nicht institutionell geregelt Herausforderungen für strategische Richtungssetzung (Orchestrierung): Der Gemeinderat verweist auf das umweltpolitische Interesse an der (Modernisierung der) Abwasserwärmeanlage im Rahmen der städtischen Nachhaltigkeitsstrategie, aber es bestehen Konflikte zwischen wirtschaftlichen und politischen Interessen Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Keine Rahmenbedingungen für langfristigere Kosten-Nutzen-Rechnungen Herausforderungen für skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung): Informelle Beziehungen zwischen den Stadtwerken und dem Gemeinderat zur Vermittlung von politischen und wirtschaftlichen Interessen zwischen dem Gemeinderat und den Stadtwerken, allerdings werden keine (finanziellen) Ressourcen für die Modernisierung vermittelt
	Lokale institutionelle Faktoren: bestehende Erwartungen über bestimmte Gewinnabgaben der Stadtwerke an die Stadt	Hemmend: führt zu kurzfristigen Kosten-Nutzen-Rechnungen der Stadtwerke Waiblingen, welche die Wirtschaftlichkeit und die Finanzierbarkeit der Modernisierung der Anlage mindern	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): niedriger Ölpreis	Hemmend: Minderung der Rentabilität der Abwasserwärmenutzung	
	Anreize und Regulierungen: Fördergelder von EU-, Bundes- und Landesebene für Abwasserwärmenutzung und Erneuerbare-Energien-Projekte	Unterstützend: können weitere Modernisierung begünstigen, der Erhalt von Fördergeldern ist allerdings arbeitsintensiv	Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Bisher werden von den Stadtwerken keine Möglichkeiten zur Gewinnung von finanzieller Unterstützung von (vorhandenen) EU-, Bundes- oder Landesfördermitteln gesehen

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Entwicklungspfad kamen unterschiedliche Entwicklungsfaktoren zum Tragen, welche unterstützend und/oder hemmend auf die einzelnen Entwicklungsmomente gewirkt haben. Grundsätzlich konnten wir hauptsächlich unterstützende Faktoren feststellen, was teilweise auf die Informationslage über die Entwicklung und Umsetzung der Abwasserwärmeanlage in Waiblingen zurückzuführen sein kann.

Die Initialisierung und Planung der Abwasserwärmeanlage wurde weitestgehend von *lokalen sozio-kulturellen Faktoren* und breiteren *gesellschaftlichen Metafaktoren* angetrieben, welche zu politischen und gesellschaftlichen Nachfrageveränderungen geführt sowie innovative Technologien bereitgestellt haben. Ein wachsendes Bewusstsein für Umweltproblematiken und Umweltschutz auf globalen, nationalen und regionalen Ebenen verliefen parallel zu einem wachsenden umweltpolitischen Engagement in der Stadt Waiblingen ab, was zu einer Unzufriedenheit mit dem konventionellen Regime der Energieversorgung geführt hat. Die breitere Nischenentwicklung zur Abwasserwärmenutzung ermöglichte das Zurückgreifen auf eine tragfähige alternative Technologie, um neue Energiequellen in der Stadt Waiblingen zu erschließen.

Technische Entwicklungen auf der lokalen Angebotsseite haben den Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage in verschiedenen Momenten unterstützt, stellen aber vor allem Herausforderungen an die Effizienz der Anlage. So konnten zwar – bis heute in steigender wachsende Anzahl – Abnehmer für die Wärme aus der Kläranlage gefunden werden, welche den Bedingungen für den Anschluss an das Fernwärmenetz entsprechen (große Gebäude in der Nähe der Kläranlage). Allerdings reduziert die technische Veraltung vieler Gebäude die Effizienz der Anlage und erfordert Umbaumaßnahmen auf der Verbraucherseite. Im Zusammenhang mit der langen Laufzeit der Abwasserwärmeanlage traten außerdem die Notwendigkeit von Modernisierungen und Umbaumaßnahmen der Anlage auf. Ein großes (technisches) Problem stellt die Biofilmverschlammung von den Wärmetauscherflächen durch das nachbehandelte Klärwasser dar, welches auch durch neue Filtertechniken nicht gelöst werden konnte (Bartel 2016, mündlich).

Auf den Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlagen wirkten *Anreize und Regulierungen* durch EU-, Bundes- und Landesebenen als maßgeblich unterstützende Faktoren. Die erste Installation der Anlage im Jahr 1983 wurde von EU-, Bundes- und Landesmitteln als Modellprojekt gefördert. Auch die Modernisierungsarbeiten in den Jahren 2002 bis 2004 wurden von dem Baden-Württembergischen Förderprogramm „Klimaschutz – Plus“ mitfinanziert. Für die gegenwärtig notwendige Modernisierung der Anlage besteht ebenfalls die Möglichkeit Fördergelder von verschiedenen politischen Ebenen zu mobilisieren; die Antragsstellungen bedürfen allerdings eines hohen Arbeitsaufwandes (Bartel 2016, mündlich). Seit den 2000er Jahren bestehen auf Bundes- und Landesebenen verschiedene Gesetze zur Förderung von Abwasserwärme und regenerativen Energien (zum Beispiel das Erneuerbare Wärmegesetz). Diese geben gesetzliche Rahmenbedingungen nutzerseitige Anreize, Systeme mit regenerativer Energie nachzufragen und verbessern die Vermarkungsmöglichkeiten der Abwasserwärme, indem sie Abnehmern verhältnismäßig preisgünstig zur Verfügung gestellt werden kann.

Die verhältnismäßige Preisgünstigkeit der Wärme wird allerdings auch durch gesellschaftliche *Metafaktoren* – insbesondere der Preisentwicklung anderer Energieträger wie Öl und Gas, mit denen die Abwasserwärme in Konkurrenz steht – geprägt. Der derzeitig niedrige Ölpreis mindert die Rentabilität an der Abwasserwärme. Dies steht auch im Zusammenhang mit *lokalen institutionellen Faktoren* und den Schwierigkeiten die notwendige Modernisierung zu finanzieren: Einerseits basieren die Berechnungen der Wirtschaftlichkeit und Bepreisung der Wärme aus der Anlage von kurzfristigen Kosten-Nutzen-Rechnungen, welche nicht die Langlebigkeit der Anlage berücksichtigen. Andererseits bestehen Erwartungen an Gewinnabgaben durch die Stadtwerke an die Stadt, welche durch eine Modernisierung verringert würden.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

In diesem Abschnitt fokussieren wir uns auf die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung bestimmt haben. Dies ermöglicht es herauszustellen, wie Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind, um die Kopplung voranzutreiben. Es zeigt außerdem bestehende Herausforderungen auf. Wir analysieren insbesondere die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen, die innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Aufgrund der Datenlage können einige der Akteure und Handlungen nur implizit benannt werden. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen der Akteure innerhalb der Entwicklungsmomente und in Bezug auf die Einflussfaktoren.
Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die an dem Entwicklungspfad beteiligten Akteure und deren Rollen. Die zentralen Akteure waren der Gemeinderat der Stadt Waiblingen und die Stadtwerke. Die Abwasserwärmenutzungsanlage in Waiblingen wurde mutmaßlich vom Gemeinderat der Stadt Waiblingen initialisiert (Bartel 2016, mündlich), möglicherweise aus dem politischen Interesse heraus, ein Prestigeprojekt umzusetzen und sich umweltpolitisch zu positionieren. Dieses umweltpolitische Interesse wirkt sich bis heute auf die Anlage aus; es treibt beispielsweise den Modernisierungswunsch voran. Die Stadtwerke Waiblingen – damals noch eine Unterabteilung der Stadt[4] – waren der zentrale organisatorische Akteur, sie übernahmen die Bauherrschaft für die Umsetzung der Infrastrukturkopplung. Auch sie hatten bereits frühzeitig ein Interesse an umweltfreundlicher Energie- und Wärmeerzeugung entwickelt, sie unterliegen jedoch auch einem wirtschaftlichen Druck, relativ preisgünstige Energie und Wärme zur Verfügung zu stellen und Gewinnabgaben an die Stadt zu liefern.

[4] Mittlerweile sind die Stadtwerke eine quasi-öffentliche Gesellschaft mit beschränkter Haftung. Sie versorgen Kunden mit Erdgas, Strom, Wasser und Fernwärme. Sie wird zu 99,9% von der Städtischen Beteiligungsgesellschaft Waiblingen GmbH geführt, zu 0,1 % ist die Stadt Waiblingen beteiligt.

Tabelle 3: Akteure und ihre Rollen im Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage Waiblingen

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Stadtwerke Waiblingen	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (quasi-öffentlich)	Bauherrschaft, Planung, Verwaltung, Instandhaltung
Gemeinderat Waiblingen	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene)	Initiierung
Städtische Abteilung der Stadtentwässerung (heute: Eigenbetrieb)	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (quasi-öffentlich)	Nicht direkt involviert aber Betreiber der Kläranlage
Kläranlage Waiblingen	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (semi-öffentlich)	Ort der Umsetzung; nicht direkt involviert aber durch neue Schnittstellen und vertragliche Bedingungen mit den Stadtwerken eingebunden
EnBW Energy Solutions Stuttgart	Multi-level (regional bis global)	Markt	Planung, Bauleitung
Technische Firmen (zum Beispiel Combitherm GmbH Fellbach)	Regional	Markt	Lieferanten der Technik (zum Beispiel Combitherm: Lieferant Wärmepumpe)
Kunden (zum Beispiel Krankenhaus, Rathaus, Hallenbad, Galerie Stihl Waiblingen)	Lokal	Markt	Abnehmer der Wärme
Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg	Regional	Öffentliche Hand (Landesebene)	Projektförderer (Finanzierung); Gesetzgeber
Bundesministerium für Forschung und Technologie	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Projektförderer (Finanzierung Projektrealisierung und Modernisierung); Gesetzgeber
Europäische Gemeinschaft	Supranational	Öffentliche Hand (internationale Ebene)	Projektförderer (Finanzierung); Gesetzgeber

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen zeigen sich in der Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung, der Anbindung der Innovation an den Kontext und Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation. Durch sie haben Akteure in der Stadt Waiblingen – insbesondere Akteure aus dem Gemeinderat und von den Stadtwerken – die Abwasserwärmenutzung in Waiblingen sowohl

initiiert, entwickelt und umgesetzt als auch in institutionellen und physischen Strukturen verankert haben.
Handlungen zur Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung kamen während der ersten Entwicklungsmomente zum Ausdruck, um das wachsende politische und gesellschaftliche Interesse an der Erschließung alternativer Energiequellen und an dem Ausprobieren von technischen Innovationen in Maßnahmen umzusetzen. Hierzu entwickelte der Gemeinderat ein neues Leitbild zur Nutzung von Abwasserwärme für lokale Wärmeversorgung, was als Grundlage für die Umsetzung des Modellprojektes zur Abwasserwärmenutzung in der Kläranlage diente. Für die weitere Ausarbeitung der Idee wurde ein Netzwerk mit den Stadtwerken als zentraler Akteur gebildet. Mit externen Experten von EnBW, an, ein Unternehmen von welchem die Stadtwerke die Planungsleistung und Bauleitung eingekauft hatten, und den Betreibern des Klärwerkes wurde ein integrales Energiekonzept zur umfassenden Bewertung von Umsetzungsmöglichkeiten entwickelt. In der Ausarbeitung der Innovation konnte auf die vorhandene Nischenentwicklung zur Abwasserwärmenutzung zurückgegriffen werden. Erfahrungen mit der Initialisierung und Planung von Abwasserwärmeanlagen in der Schweiz und Baden-Württemberg unterstreichen die zentrale Rolle von Machbarkeitsstudien im Entwicklungsprozess: Sie zeigen die technischen Umsetzungspotentiale auf, „wo gewinnen wir die Wärme aus dem Abwasser, mit welcher Technologie, wie sieht die Heizzentrale aus […], welche Gebäude wollen wir anschließen […], wie teuer ist das, wie sieht es mit der Wirtschaftlichkeit aus. Und auf dieser Basis kann dann der Bauherr sagen: ‚Okay, da steige ich ein, dann machen wir das'" (Müller 2016, mündlich).
Durch Handlungen zur *Anbindung der Innovation an den Kontext* wird die Abwasserwärmenutzung in institutionelle Strukturen integriert. Durch die Bildung von neuen organisatorischen zwischen der Stadtentwässerung und den Stadtwerken (zum Beispiel der Verkauf des anfallenden Klärgases von der Stadtentwässerung an die Stadtwerke), die Integration der Abwasserwärme in das städtische Lastmanagement und den Aufbau von langfristigen Lieferbeziehungen wurde die Zusammenarbeit wesentlicher Akteure und stabiles Angebot und Nachfrage bezüglich der Abwasserwärme sichergestellt werden. Die Abwasserwärmeanlage ist auch durch informelle Monitoring- und Lernprozessen in die täglichen Arbeitsroutinen integriert, um Anpassungsnotwendigkeiten und Erweiterungsmöglichkeiten durch technische Entwicklungen zu erkennen und erarbeiten (zum Beispiel das Erkennen einer notwendigen Pufferspeichervergrößerung). Allerdings weisen die Erfahrungen mit der neuen Filtertechnik auf langfristige technische Probleme durch Biofilmverschlammung, welche noch nicht gelöst werden konnten (Bartel 2012, 2016, mündlich). Außerdem ist die fortdauernde Modernisierung der Anlage noch nicht institutionell geregelt, was problematisch hinsichtlich des gegenwärtigen Modernisierungsbedarfes ist.
Handlungen zur *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation* dienen dazu gesellschaftliche und politische Unterstützung und wachsende Abnehmer für die Abwasserwärme zu gewinnen. Hierzu vermarkten der Gemeinderat und die Stadtwerke die Abwasserwärmeanlage als Modellprojekt. Die steigende Anzahl von Hausanschlüssen, welche über das Fernwärmenetz Wärme von der Kläranlage beziehen, wird durch proaktive Planung und Akquise von Seiten der Stadtwerke gewährleistet. Die Stadtwerke betätigen strategische Planungsarbeiten, entwickeln

Ausbaustrategien zum weiteren Ausbau der Abnehmer und stellen Informationen über die Vorteile der Abwasserwärmenutzung bereit, um das nutzerseitige Interesse an Abwasserwärme zu mobilisieren, über die Vorteile der Abwasserwärme aufzuklären und um Neukunden zu gewinnen.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen zeigen sich in strategischer Richtungssetzung, skalen- und ressourcenübergreifenden Meditation und dem Setzen von Rahmenbedingungen um Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren. Durch diese Handlungen wurde die Abwasserwärmeanlage mit den städtischen umweltpolitischen Zielen und Projekten zu Energie und Klimaschutz verknüpft, Akteure miteinander in Verbindung gebracht und politische Rahmenbedingungen für die Finanzierung der Anlage und Vermarktung der Wärme nutzbar gemacht.
Für die *strategische Richtungssetzung* sind insbesondere die durch den Gemeinderat Waiblingen später entwickelten umwelt- und klimapolitischen Ziele und Strategien relevant, innerhalb derer die Abwasserwärmeanlage als zentrales Modellprojekt positioniert ist. Die Anlage wird so im Rahmen der Ambition CO_2-Emissionen zu sparen und der Teilnahme an den European Energy Awards vermarktet. Dies beförderte nicht die Initialisierung der Anlage, jedoch insbesondere die Modernisierungsarbeiten an der Anlage in den Jahren 2002 bis 2004, da ein starker politischer Wille zur Beibehaltung der Anlage bestand. Allerdings besteht bis heute keine tiefgreifende Integration zwischen den umweltpolitischen Zielen und den wirtschaftlichen Zielen der Stadt und Stadtwerke. Die Problematik dessen zeigt sich im gegenwärtigen Stand der Abwasserwärmeanlage, welche weiteren Modernisierungsbedarf aufweist: Der Gemeinderat kann die Stadtwerke zwar zu einer Modernisierung antreiben, unterstützt diese jedoch nicht finanziell. Darüber hinaus erwartet die Stadt gemäß eines Ertragsabgabevertrages Gewinne in vorab bestimmter Höhe von den Stadtwerken. Eine kostenintensive Modernisierung würde den Gewinn drücken.
Handlungen zur *skalen- und ressortübergreifenden Mediation* wurden vom Gemeinderat während der ersten Entwicklungsmomente der Abwasserwärmeanlage unternommen, um Verbindungen zwischen unterschiedlichen Akteuren – insbesondere den Stadtwerken, der Stadtentwässerung und der Kläranlage – herzustellen, welche vorher keine Schnittstellen hatten. So konnte beispielsweise die Kläranlage Waiblingen als Umsetzungsort für die Anlage identifiziert und die Anlageninstallation an die Erweiterungsanlagen der Kläranlage angebunden werden. Außerdem ist es wahrscheinlich, dass durch ähnliche VermittlungsHandlungen Verbindungen zu geeigneten Abnehmern der Fernwärme aus der Kläranlage – öffentliche Gebäude – hergestellt werden konnten. Im Allgemeinen sind bei der Realisierung von Abwasserwärmeanlagen verschiedene Akteure beteiligt (Müller 2016, mündlich). Gerade in der Initialisierung sind die Kommunen die wichtigsten Partner: Die Kommunen selbst besitzen größere Gebäude, die interessant sind für die Abwasserwärmenutzung und sie haben die Verbindungen zu verschiedenen Akteuren (ebd.). In dem weiteren Verlauf des Entwicklungspfades nahmen diese Handlungen zur Mediation ab und die Stadtwerke agierten relativ unabhängig. Dies stellt hinsichtlich des gegenwärtigen Modernisierungsbedarfs und den

Konflikten zwischen politischen und wirtschaftlichen Interessen Herausforderungen dar: Es bestehen keine ausreichenden Netzwerkverbindungen zwischen der Stadt und den Stadtwerken, um diese gegenseitigen Interessen miteinander zu vereinbaren.
Das *Setzen von Rahmenbedingungen* für die Installation und Modernisierung der Abwasserwärmeanlage ist weitestgehend durch die Bereitstellung von finanziellen Ressourcen und die Vorgabe von gesetzlichen Rahmenbedingungen auf EU-, Bundes- und Landesebenen gegeben. Diese müssen von insbesondere von den Stadtwerken für die Abwasserwärmeanlage nutzbar gemacht werden. Beispielsweise hat das Aufzeigen der Finanzierbarkeit der Anlage durch das Energiekonzept und die Positionierung als Modellprojekt geholfen, EU-, Bundes- und Landesfördermittel für den Bau zu erhalten. Ähnlich ermöglicht die Abrechnung der erzeugten Wärme durch die Nutzung bestehender Abrechnungsgesetze (zum Beispiel das erneuerbare Wärmegesetz des Landes Baden-Württemberg) eine preisgünstigere Bereitstellung der Wärme an Kunden.
Die gegenwärtige Problematik der Finanzierung einer notwendigen Modernisierung der Anlage weist auf verschiedene Herausforderung in Bezug auf das Setzen von Rahmenbedingungen. Obwohl prinzipiell auch für die gegenwärtige Modernisierung auf solche Fördermittel zurückgegriffen werden könnte, ist die Antragsstellung arbeitsintensiv und nicht gesichert (Bartel 2016, mündlich). Durch die fehlende Integration unterschiedlicher Interessen sind keine finanziellen Rahmenbedingungen gegeben. Es bestehen insbesondere keine Rahmenbedingungen für langfristigere Kosten-Nutzen-Rechnungen; Abschreibungen zur Berechnung des Preises für die Fernwärme noch zu wenig die Langlebigkeit der Produkte – so könnte der Preis für die Fernwärme noch günstiger sein (Bartel 2016, mündlich). Stattdessen reduziert der derzeit niedrige Ölpreis die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastrukturkopplung durch ihren Entwicklungspfad zu einer Nachhaltigkeitstransformation beiträgt. Durch die funktionalen und geographischen Systemgrenzen ist die Frage nach einer Nachhaltigkeitstransformation auf die Abwasseraufbereitung und Wärmeerzeugung in der Stadt Waiblingen begrenzt. Hierzu beschreiben wir einerseits den Beitrag der Abwasserwärmeanlage zu Nachhaltigkeit und andererseits das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Anlage.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Serverabwärmeanlage wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.
Das explizite Ziel der Abwasserwärmeanlage war es, das Potential der lokal vorhandenen und nachhaltigen Energie von Abwasserwärme und Klärgas effizient verfügbar zu machen, und die so entstehende Wärme als Dienstleistung zu erbringen. Dies wurde weitestgehend erreicht, ohne dass die Ursprungsfunktion der Kläranlage (das heißt die Reinigung von Abwasser)

beeinträchtigt wurde beziehungsweise wird. Die Leistungsfähigkeit der Anlage wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die gute Verfügbarkeit der entsprechenden Technologien wie Wärmetauscher. Die bauliche Anpassung war vergleichsweise gering. Die neuen Anlagen konnten an bestehende Infrastrukturen angebunden werden.
- Die organisatorischen Anpassungen waren vergleichsweise gering und wurden durch Schnittstellen zwischen den Stadtwerken und Stadtentwässerung gewährleistet.
- Die Verfügbarkeit von großen öffentlichen Gebäuden in der Nähe zur Kläranlage mit guten Anschlussmöglichkeiten an das Fernwärmenetz.
- Um die Anlage effizient zu betreiben, ist eine stabile Nachfrage notwendig. Durch steigende Abnehmerzahlen konnte dies erreicht werden, und unter anderem auch der Wegfall eines Großabnehmers, des Krankenhauses, kompensiert werden.
- Über die lange Nutzungsdauer bedarf die Anlage Modernisierungen. Bisher ungelöste Probleme stellen die Biofilmverschlammung der Wärmetauscherflächen und die notwendigen nutzerseitigen Anpassungen dar.

Die Wärme aus der Abwasserwärmeanlage kann Abnehmern zu vergleichbaren Preisen von anderen Energieträgern wie Öl und Gas zur Verfügung gestellt werden (Müller 2016, mündlich). Durch die geringen nutzerseitigen Anpassungsnotwendigkeiten beim Anschluss an das Fernwärmenetz wird auch die soziale Verträglichkeit der Anlage erhöht. Allerdings ist die Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlage momentan durch den Modernisierungsbedarf stark reduziert. Die Modernisierung kann aufgrund von kurzfristigen Kosten-Nutzen-Rechnungen, welche die Langlebigkeit der Anlage nicht berücksichtigen, und den Erwartungen an die Gewinnabgaben durch die Stadtwerke an die Stadt nicht finanziert werden. Im Grunde stehen die langfristig konkurrenzfähigen Preise einer kurzfristigen Kosten-Nutzen-Rechnung gegenüber, die wegen der hohen Investitionskosten nicht positiv ausfallen kann:

- Die Installation der Anlage – einschließlich Wärmepumpen, Fernwärmenetz und Nutzeranschlüsse – ist verhältnismäßig teuer. Dies kann durch Nutzungsdauer der Systeme und die vergleichsweise geringen Betriebskosten ausgeglichen werden, würde aber verbessert durch langfristigere Kosten-Nutzen-Rechnungen.
- Die Preisentwicklung anderer Energiequellen beeinflusst die relative Kostengünstigkeit der Abwasserwärmenutzung. Insbesondere durch den derzeit geringen Ölpreis sinkt die Gesamtwirtschaftlichkeit der Fernwärme aus der Kläranlage.
- Energiepreisteuerungen, insbesondere Bundes- und Landesgesetze, und EU-, Bundes- und Landes-Förderbeiträge sicherten auch attraktivere (preisliche) Bedingungen für die Nutzer der Wärme der Anlage.
- Der Preisvergleich zwischen der Fernwärme und Öl oder Gas bedarf auch Aufklärungsarbeit durch die Stadtwerke, um nutzerseitiges Wissen über die Vorteile zu schaffen.
- Ein Anschluss an die Anlage bedarf möglicherweise Folgeinvestitionen auf der Nutzerseite; da viele Gebäude technische veraltet sind, müssen gerade bei Bestandsgebäuden die beiden Komponenten Haustechnik und Fernwärme aufeinander abgestimmt werden.

Die Anlage hat positive Beiträge auf Ressourcen und Umwelt. Die Abwasserwärmenutzung trägt an Ressourceneffizienz bei, da Abwasserwärme als Energiequelle sonst verloren geht. Sie reduziert CO_2-Emissionen für Raumheizung und Wassererwärmung, da keine Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas nötig ist. Allerdings beruht dies auf der vorherigen Heizung des Frischwassers durch Öl und Gas (Müller 2016, mündlich). In Waiblingen wurden durch die Abwasserwärmeanlage bis zur Modernisierung 2002 jährlich rund 150.000 Liter Heizöl und rund 500 Tonnen CO_2 eingespart. Durch die Modernisierung sind dies noch mehr (Bartel 2012; Wendt-Schwarzburg et al. 2012). Weitere positive Umweltwirkungen der Abwasserwärmenutzung ist die thermische Entlastung der Gewässer (Müller 2016, mündlich), da sich eine überhöhte Abwassertemperatur negativ auf Ökosysteme auswirken kann (zum Beispiel durch erhöhte Algenbildung, welche Gewässer ‚kippen' lassen können). Der Beitrag an Ressourcenschonung und –effizienz wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die gute Verfügbarkeit der entsprechenden Technologien.
- Aufgrund der derzeitigen veralteten Technik gehen die CO_2-Einsparungen der Anlage gegenüber fossilen Energieträgern gegen null.
- Die technische Veraltung vieler Gebäude reduziert die Effizienz der Anlage.

Die Versorgung mit Wärme aus der Kläranlage kann verhältnismäßig sicher und flexibel über das Fernwärmenetz gewährleistet werden. Die lokale Nutzung von Abwasserwärme ermöglicht auch lokale Unabhängigkeit, insbesondere der Stadtwerke. Es bestehen keine Informationen Bezüglich der Resilienz der Anlage im Kontext wetterbedingter Störungen. Der Beitrag der Anlage zur Versorgungssicherheit wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Lokale Verfügbarkeit von Abwasserwärme, geringe Erschließungs- und Transportkosten sowie Importunabhängigkeit.
- Flexibles Lastenmanagement stellt Versorgungssicherheit (und Flexibilität in der Versorgung) sicher.
- Die Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme der Kopplung ist technisch eher unkompliziert, aber finanziell aufwendig.

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das Transformative Potential und die Transformative Wirkung der Abwasserwärmeanlage sind daran festzumachen, inwieweit durch die Anlage das dominante Regime der Abwasseraufbereitung und Wärmeerzeugung in der Stadt Waiblingen, das heißt auf lokaler Ebene, in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird beziehungsweise werden kann. Die Abwasserwärmeanlage weist das Potential auf, durch die Erzeugung von Wärme aus Abwasserwärme und Klärgas an einer veränderten Nutzung von Abwasser beizutragen, wodurch Abwasser als neuer Energieträger für Wärme – anstatt insbesondere Öl und Gas – positioniert wird. Die Kopplung kann so an einer nachhaltige(re)n Energieversorgung und -nutzung in Waiblingen beitragen.
Das Potential der Abwasserwärmeanlage wurde durch die technische Umsetzung und institutionelle Verankerung weitestgehend in Transformative Wirkungen umgesetzt. Steigende

Abnehmerzahlen und der Anschluss von 70 hauptsächlich öffentlichen Gebäuden zeigen, dass auf lokaler Ebene Teile der bestehenden Infrastruktur für Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung durch die gekoppelte Infrastrukturlösung ersetzt worden sind. Die Nischeninnovation wurde technologisch und politisch/administrativ im Regime verankert. Insofern lässt sich argumentieren, dass die Nische „Wärmeerzeugung aus Abwasser" das Regime strukturell verändert hat und mittlerweile einen Teil des Regimes darstellt.

Die Transformativen Wirkungen der Abwasserwärmeanlage zeigen sich wie folgt:

- Durch die Abwasserwärmeanlage geht Abwasserwärme nicht mehr verloren, sondern wird durch technische Strukturen am Klärwerk und vom Klärwerk zu Abnehmeranschlüssen (zum Beispiel Heizkraftwerk, Wärmepumpen, Fernwärmenetz) in Wärme umgeleitet und Kunden zur Verfügung gestellt. Dies trägt zu einer veränderten Nutzung von Energieträgern – zum Beispiel von Wärme aus der Kläranlage statt Öl und Gas – bei. Die kontinuierlich steigende Abnehmerzahl weist auf eine breitere Akzeptanz der Anlage hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Vorteile und dem relativ einfachen Netzanschluss.
- Die Abwasserwärmenutzung hat den Kläranlagenbetreibern und Stadtwerken einen neuen Markt zur Abwasserverwendung und Wärmeversorgung eröffnet.
- Die Kopplung von Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung führte zu neuen Schnittstellen zwischen den städtischen Abteilungen (beziehungsweise mittlerweile Eigenbetrieben) Städtentwässerung und Stadtwerken.
- Informelle Strukturen ermöglichen kontinuierliche Anpassungen, Erweiterungen, Monitoring und Lernen. Die Nutzung der Abwasserwärme erfordert von den betroffenen Sachbearbeitern und Projektleitern vertiefte Fachkenntnisse, sowohl aus dem Bereich Abwasser/Kanalisation, wie auch aus dem Energiebereich (Groß-Wärmepumpen, Kraftwärmekopplung, Nah- und Fernwärme, Heizung/Lüftung/Klima etc.) (Müller und Butz 2010).
- Eine Sensibilisierung des technischen Personals auf der Abnehmerseite trägt dazu bei das Gesamtsystem wirtschaftlich und energieeffizient zu betreiben. Hierzu werden regelmäßig Hausmeisterschulungen der Stadtwerke Waiblingen im Zusammenspiel mit den städtischen Behörden und der Energieagentur Rems-Murr angeboten. Inhalte dieser Schulungen sind beispielsweise der hydraulische Abgleich und die zeitliche Entzerrung von Heizkreisen, um eine möglichst gleichmäßige Heizlast ohne hohe Bedarfsspitzen zu generieren (Bartel 2012).
- Die Abwasserwärmeanlage wird als Modellprojekt im Rahmen der umwelt- und klimapolitischen Ziele der Stadt Waiblingen vermarktet. Sie wird so dafür verwendet, eine breitenwirksamere Aufmerksamkeit für veränderte Nutzerverhalten zu schaffen.

Zum Teil wird das Transformative Potential nicht voll ausgeschöpft und so die Transformative Wirkung gemindert:

- Die Nutzung von Abwasserwärme bedarf einer vorherigen Heizung des Abwassers, was meist immer noch über Öl oder Gas abläuft (Müller 2016, mündlich). Hier wären weitere Anpassungen notwendig, beziehungsweise ein ganzheitlicheres Konzept für eine nachhaltigere Energieversorgung und -nutzung.

- Kosten-Nutzen-Rechnungen werden in Frage gestellt: Um die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmeanlage zu erhöhen, sollten die Preisberechnungen der langfristigen Nutzungsdauer der Anlage angepasst werden sowie die (ökologischen) Folgekosten der Verwendung von fossilen Energieträgern einkalkuliert werden. Dies wird allerdings nicht umgesetzt.
- Es bestehen noch keine klaren Strukturen für die Finanzierung notwendiger Modernisierungen der Anlage, wie derzeit nötig ist. So ist die Anlage zurzeit aufgrund der veralteten Technik nicht mehr effizient und die CO_2-Einsparungen gegenüber anderen Energieträgern gehen gegen null.

Das Transformative Potential der Nischeninnovation „Wärmeerzeugung aus Abwasser“ ist zudem grundsätzlich, das heißt durch die Charakteristika der Innovation selbst, begrenzt:

- Die Innovation bezieht sich nur auf die Angebotsseite des Abwasseraufbereitungs- und Wärmeversorgungssystems und weniger auf die Nachfrageseite. Um zum Beispiel die Wärme aus der Kläranlage effizienter zu nutzen, werden technische Anpassungen auf der Nutzerseite angesprochen, wie beispielsweise bessere Dämmungen um den Wärmeverbrauch einzusparen, konkrete Veränderungen allerdings noch nicht explizit gefördert oder umgesetzt.
- Die Innovation bezieht sich eher auf technologische Innovation und vernachlässigt nicht-technologische Systemkomponenten (wie zum Beispiel Kultur, soziale Praktiken), die Präferenzen für und Verwendung von Technologie von (potenziellen) Kunden beeinflussen. Eine klare Ausnahme ist die Schaffung eines Marktes für „Wärmeerzeugung aus Abwasser“.

5 Fazit

Die Fallstudie zur Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage Waiblingen bietet tiefgreifende Einsichten in den langfristigen Entwicklungspfad einer Infrastrukturkopplung – neben der Initialisierung und ersten Umsetzung enthalten die Entwicklungsmomente auch die weitere Instandhaltung, Erweiterung und Modernisierung der Anlage. Hierdurch können umfassende Aussagen zu sowohl verschiedenen Einflussfaktoren und Prozessen als auch dem Beitrag der Anlage an einer Nachhaltigkeitstransformation getroffen werden.
Die Abwasserwärmeanlage wurde 1983 als Nische entwickelt, um das bis dahin ungenutzte Potential von Abwasserwärme für Wärmegewinnung nutzbar zu machen. Die Anlage trägt insbesondere durch erhöhte Ressourceneffizienz, verminderte Nutzung von fossilen Energieträgern, reduzierte CO_2-Emissionen und erhöhter lokaler Energieautarkie zur Nachhaltigkeit bei. Durch die veränderte Nutzung von Abwasserwärme und Wärmeenergieträgern kann sie einen Beitrag zu einer lokalen Transformation hinsichtlich nachhaltiger Energieversorgung und -nutzung leisten. Allerdings ist die Abwasserwärmeanlage vor allem als eine technische (und weniger als soziale) Innovation zu betrachten; sie wurde durch technische Anpassungen in der Kläranlage, die Installation eines Fernwärmenetzes und die Bildung neuer organisatorischer Schnittstellen umgesetzt. Zusätzlich die Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage in erster Linie eine Optimierung des bestehenden

Regimes zur Stadtentwässerung und Wärmeversorgung in Waiblingen dar: Die Nutzung von fossilen Energieträgern wird nicht grundlegend hinterfragt und die technische Anlage wurde in bestehende Systeme der Kläranlage integriert. Letzteres hinterfragt nicht die Nachhaltigkeit des bestehenden Sanitär- und Abwasseraufbereitungssystems in der Stadt Waiblingen (oder grundsätzlich in Städten), weder in Hinblick auf die Nachhaltigkeit zentralisierter Infrastrukturen noch auf deren Fokus auf Abwasserbeseitigung statt auf Trennung von Stoff- und Wasserströmen und deren effektive Wiederverwertung. Außerdem ist das Potential der Anlage aufgrund von technischen Vorgaben (bislang) auf große und meist öffentliche Gebäude begrenzt. Zusätzlich bedarf die Anlage auf lange Sicht regelmäßiger Modernisierungen und Anpassungen auch auf der Verbraucherseite.

Der Entwicklungspfad wurde von verschiedenen Einflussfaktoren und dem Umgang mit diesen durch Akteure geprägt. Zu Beginn war das Zusammenwirken von lokalen sozio-kulturellen Faktoren und gesellschaftlichen Metafaktoren, welche zu Nachfrageveränderungen hinsichtlich einer umweltfreundlicheren und ressourceneffizienteren Energieversorgung geführt haben. Dieses Umweltbewusstsein und die breitere Nischenentwicklung zu Abwasserwärmenutzung wurden vom Gemeinderat und den Stadtwerken in Waiblingen aufgegriffen, in ein neues Leitbild übertragen und – basierend auf dem Zusammenbringen von unterschiedlichen Akteuren – durch ein umfassendes Energiekonzept entwickelt. Auf die Umsetzung und Modernisierung der Anlage sowie für die Vermarktung der Wärme wirkten Fördermittel und gesetzliche Regelungen von EU-, Bundes- und Landesebenen als maßgeblich unterstützende Faktoren. Die verhältnismäßige Preisgünstigkeit der Wärme wird allerdings auch durch die Preisentwicklungen anderer Energieträger – wie beispielsweise Öl und Gas – auf der breiteren gesellschaftlichen Ebene beeinflusst und bedarf Aufklärungsarbeiten durch die Stadtwerke. Der Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage wurde auch durch verschiedene lokale technische Entwicklungen geprägt, insbesondere durch die technischen Voraussetzungen an Abnehmergebäuden sowie für den effizienten Anlagenbetrieb.

Der derzeitige Stand der Anlage weist auf verschiedene Herausforderungen für Akteure, mit den Einflussfaktoren umzugehen. Interessanterweise übt das politische Interesse des Gemeinderates, die Abwasserwärmeanlage weiterhin als Modellprojekt im Rahmen der lokalen umwelt- und klimapolitischen Ziele zu vermarkten, Modernisierungsdruck aus. Auf den gesamten Entwicklungspfad betrachtet weist dies auf den zentralen Einfluss von politischer Machtausübung in der Entwicklung und Umsetzung der Anlage. Allerdings ist die kontinuierliche Finanzierung der Anlage nicht (institutionell) gesichert. Hierzu müssen im Regime weitere Strukturen in Frage gestellt werden, wie beispielsweise die Kostenberechnungen zur Wirtschaftlichkeit der Anlage. Gleichermaßen könnte das Potential der Anlage, an einer lokalen Energiewende beitragen, durch die Akteure weiter mobilisiert werden, indem beispielsweise nutzerseitige Anpassungen forciert werden.

Der geographische Systemfokus dieser Analyse zeigt, dass die Technik zur Gewinnung von Wärme aus Abwasser im Rahmen von lokalen Nachhaltigkeitszielen zum Tragen kommen kann. Wird der Entwicklungspfad der Nischeninnovation in einem größeren geographischen Bezugsrahmen (zum Beispiel Deutschland) gesetzt oder die Systemgrenzen rein funktional gesetzt (das heißt in Hinblick auf das Wärmeversorgungs- und Abwasseraufbereitungssystem),

ist „Wärmeerzeugung aus Abwasser“ nach wie vor eine Nische gegenüber den dominanten sozio-technischen Lösungen. Obwohl auch über das Pilotprojekt hinaus eine stark ansteigende Zahl ähnlicher Projekte die Zuverlässigkeit dieser Technologie seit über 20 Jahren belegen (Müller und Butz 2010), wurde die Technik bisher nicht flächendeckend umgesetzt. In Planungsroutinen von Kläranlagen ist eine solche Nutzung von Abwasserwärme noch nicht integriert. Kommunen und Kläranlagenbetreiber haben oft zu wenig Fachkenntnisse und es fehlt eine Initialzündung (Müller 2016, mündlich).
Vor dem Hintergrund einer breiteren Nachhaltigkeitstransformation über den lokalen Kontext hinaus ist eine der zentralen Fragestellungen, wie auf größeren politischen Entscheidungsebenen weitere (lokale) Umsetzungen gefördert werden können. Die Aufnahme in Förderprogramme und der Erlass von Gesetzen zum Einsatz regenerativer Energien in der Wärmeversorgung tragen wesentlich dazu bei, dass ausgelöste Projekte zur Wärmegewinnung aus Abwasser vermehrt auch zur Umsetzung gebracht werden können (Müller und Butz 2010). Eine besondere Entwicklung in Baden-Württemberg ist das Initialisierungsprogramm des Landes zur Förderung von Abwasserwärme, welches zu vielen Projektumsetzungen – aber noch keiner flächendeckenden Umsetzung – führte (ebd., Müller 2014). Durch dieses Programm erhalten Gemeinden neutrale Gutachter für eine kostenlose Beratung sowie Förderbeiträge an Machbarkeits- und Potentialstudien (um diese bis zu 50% zu finanzieren). Die Gutachter gehen aktiv auf die Schlüsselpersonen zu, um diese zu motivieren und informieren, zwischen den unterschiedlichen Interessen der involvierten Akteure (zum Beispiel Baubürgermeister, Bauämter, Zuständige der Kläranlage) zu vermitteln und geeignete Standorte zu suchen (Müller 2010). Das Land Baden-Württemberg zahlt für die Investitionen an der Anlage bis zu 50 Euro/t CO_2-Einsparungen beziehungsweise bis zu 20% der Investitionssumme. Außerdem unterstützt auch die skalenübergreifende Kommunikation von erfolgreichen Beispielen – wie Waiblingen – eine breitenwirksamere Aufklärung über Abwasserwärmenutzung.

6 Quellenverzeichnis

Bartel, R. (2012): Heizkraftwerk Kläranlage Waiblingen: Abwasserwärmenutzung mit Tradition. In: Servicestelle: Kommunaler Klimaschutz beim Deutschen Institut für Urbanistik (Hrsg.): Klimaschutz & Abwasserbehandlung. Praxisbeispiele zum Klimaschutz, Köln: 52–62. edoc.difu.de/edoc.php?id=WLEO4SIY. Aufgerufen am: 10.11.2016.

BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2013): Abwasser. http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewaesser/abwasser/. Aufgerufen am: 10.11.2016.

Bundeszentrale für politische Bildung (2009): Geschichte der deutschen Umweltpolitik. http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/dossier-umwelt/61136/geschichte?p=all. Aufgerufen am: 30.10.2016.

Deutscher Bundestag (2008): Gesetz zur Förderung Erneuerbare Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG). In: BGBl., S. 1658. https://www.gesetze-im-internet.de/eew_rmeg/BJNR165800008.html. Aufgerufen am: 10.11.2016.

Ecofys Germany GmbH, Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) gGmbH, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Öko-Institut e.V., I und Klinski, S. (2013): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichtes gemäß § 18 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-fraunhofer-2013-evaluierung-ee-waermegesetz.pdf. Aufgerufen am: 15.11.2016.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Kölbl, A. (2014): Waiblingen: Aufbruch in die ökologische Zukunft. Zeitungsverlag Waiblingen, 12. November 2014. http://www.zvw.de/inhalt.waiblingen-aufbruch-in-die-oekologische-zukunft.c47a8339-f5a0-462b-9734-15927ae3df64.html. Aufgerufen am: 10.11.2016.

Kroll, T. und Ehrhardt, H. (2012): Energie in der modernen Gesellschaft. Zeithistorische Perspektiven, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Landratsamt Rems-Murr-Kreis (1998): Umwelterklärung. www.rems-murr-kreis.de/Umwelterklaerung_1998.pdf. Aufgerufen am: 10.11.2016.

Müller, E.A. (2010): Heizen mit der Wärmequelle Abwasser: Im Prinzip ganz einfach. EuroHeat&Power, 39 (7-8): 48-50.

Müller, E.A. (2014): Baden-Württemberg - Vorreiter in Deutschland (Nutzung von Abwasserwärme). Präsentation am 5. Juni 2015, Stuttgart. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Veranstaltungen/Pr%C3%A4sentationen/2015/151119_Nutzung_von_Abwasserw%C3%A4rme/AWN_in_BW_EA_Mueller.pdf. Aufgerufen am: 10.11.2016.

Müller, E.A. und Butz, J. (2010): Abwasserwärmenutzung in Deutschland. Korrespondenz Abwasser, Abfall 5: 457–462. doi:10.3242/kae2010.05.002.

Schinnerl, D., Bucar, G., Piller, S. und Unger, F. (2007): AbwasserWärmeNutzung - Leitfaden zur Projektentwicklung. http://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf. Aufgerufen am: 10.11.2016.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Stadt Waiblingen (2016): Gewässerschutz. https://www.waiblingen.de/de/Die-Stadt/Unsere-Stadt/Nachhaltigkeit+Umwelt/Wasser+Abwasser/Gew%C3%A4sserschutz. Aufgerufen am: 15.11.2016.

Umweltzentrum Karlsruhe (2016): Die ‚BUZO' - Der Verein. http://www.umweltzentrum-karlsruhe.de/. Aufgerufen am: 13.11.2016.

Wendt-Schwarzburg, H., Raber, W. und Walther, J. (2012): Heizwerk Abwasser-Abwärme. Regionale Ressourcennutzung aus eigener Kraft. Leitfaden für kleine Kommunen. https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiqy9mulKnRAhUGCBoKHVivB9wQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.reproketten.de%2Fdokumente%2FBroschuere_Abwasser-Abwaerme.pdf&usg=AFQjCNFRWCm6ay2MudXgjx3XDSKCsTBttQ&bvm=bv.142059868,d.d2s. Aufgerufen am: 10.11.2016.

3. Abwasserwärmenutzung in Köln im CELSIUS-Projekt

Autorinnen und Autoren: Martin Hirschnitz-Garbers[1], Katharina Hölscher[2], Alfred Olfert[3], Jörg Walther[4]

1 Ecologic Institut, Berlin
2 Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
3 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden
4 Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus-Senftenberg

1 Einleitung

Im Kontext von Klimaschutz und Nutzung nicht-fossiler Energiequellen stellen insbesondere Städte und Ballungsräume Orte für Innovationen und Lernen dar. Großstädte verwenden bis zu 2/3 ihres Energieverbrauchs für die Wärmeversorgung, sodass hier insbesondere Bedarf an nachhaltigeren Lösungen besteht (RheinEnergie AG 2016b). In Köln werden hierzu im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojektes CELSIUS[5] die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen und Möglichkeiten untersucht, um die bisher i.d.R. ungenutzt abgeleitete Wärme aus Abwasser für die Gebäudewärmeversorgung einzusetzen. Dazu wurden in Köln seit 2013 Demonstrationsanlagen an drei Standorten eingerichtet und in Betrieb genommen, die über unterschiedliche technologische Ansätze insgesamt 6 Schulen (inkl. Sporthallen) mit Wärme versorgen. An zwei der drei Standorte werden Rinnenwärmetauscher eingesetzt, über die die Abwärme dem Abwasser direkt entnommen und dann über ein Trägermedium zu den Wärmepumpen der angeschlossenen Gebäude transportiert wird. An einem dritten Standort wird ein Direktverdampfer mit Wärmepumpe genutzt, was die Effizienz der Abwasserwärmenutzung weiter steigern kann. An allen Standorten wird die Abwärme zur Wärmeversorgung der Schulen verwendet. Nach Angaben von RheinEnergie AG wird über die Demonstrationsanlagen an den drei Standorten eine Einsparung von 500 t CO_2 pro Jahr erreicht (RheinEnergie AG 2016b). Nicht zuletzt aus diesem Grund wurde das CELSIUS-Projekt zu einem Leuchtturmprojekt der KlimaExpo.NRW[6] ausgerufen.
Zwar sind Technologien zur Nutzung von Abwasserwärme ausgereift und weit entwickelt, aber aufgrund fehlender Bekanntheit, unzureichender Informationen vor Ort, komplexer Realisierungsanforderungen und hoher Investitionskosten ist diese Form der Abwärmenutzung bisher kaum verbreitet (RheinEnergie AG 2016b). Die Erfahrungen aus den Demonstrationsanlagen sollen einerseits dazu genutzt werden, solche und mögliche weitere Hindernisse für die Nutzung von Abwasserwärme in Köln zu identifizieren und abzubauen;

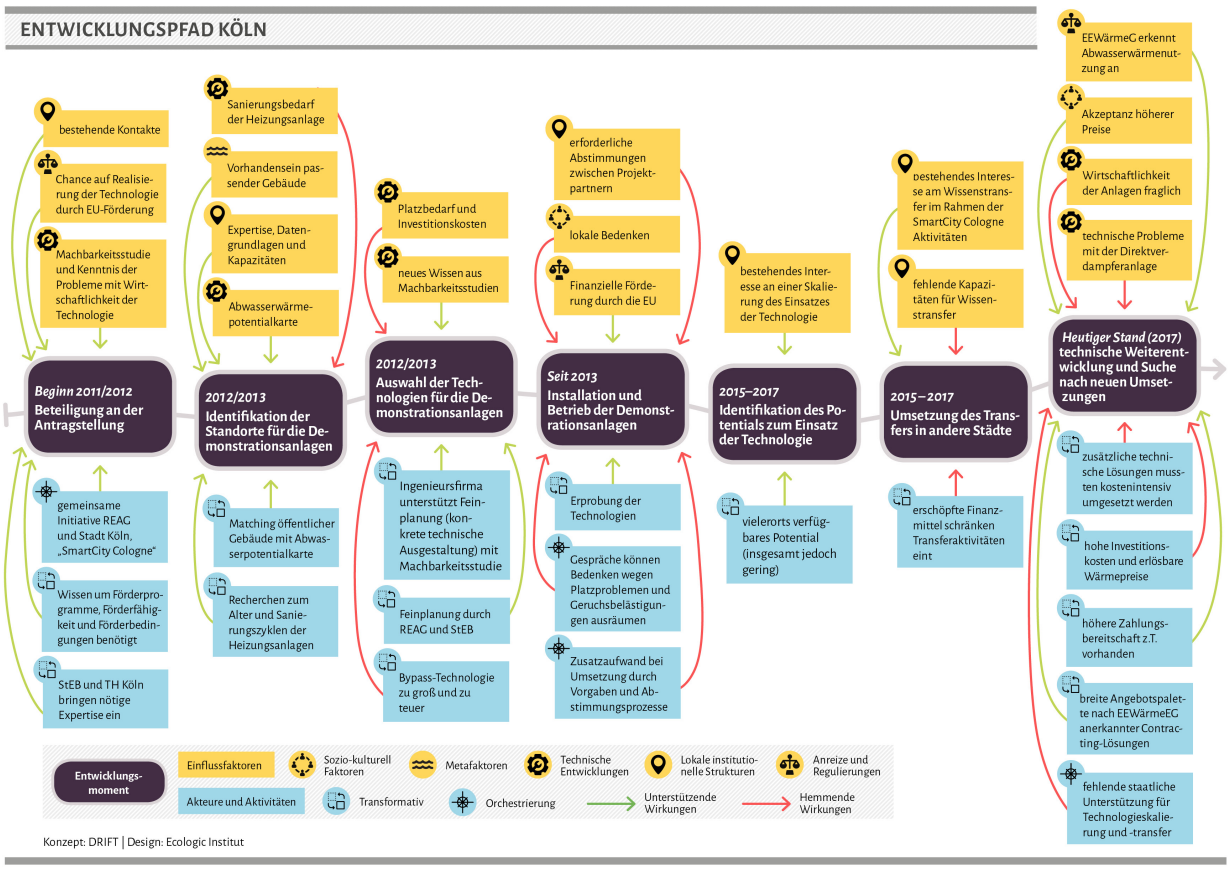
[5] Combined Efficient Large Scale Integrated Urban Systems, http://celsiuscity.eu/.
[6] Die KlimaExpo.NRW ist eine Initiative der Landesregierung des Bundeslandes NRW und zielt darauf ab, den industriellen Wandel in NRW gemeinsam mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft innovativ und nachhaltig gestalten zu helfen. Die KlimaExpo.NRW dient dazu, das technologische und wirtschaftliche Potenzial in NRW im Bereich Klimaschutz-Lösungen bis ins Jahr 2022 zu präsentieren und dazu erfolgreiche Projekte einem breiten verständlich und erfahrbar zu machen, um so zusätzliches Engagement für den Klimaschutz zu fördern (Landesregierung Nordrhein-Westfalen ohne Jahr).

andererseits ist über den Austausch zwischen verschiedenen europäischen Städten auch ein Transfer von Wissen und Erfahrung im internationalen Kontext geplant, um diese Form der Abwasserwärmenutzung zu einer verbreiteteren Umsetzung zu verhelfen.
Vor diesem Hintergrund betrachten wir in der vorliegenden Analyse **die drei Demonstrationsanlagen als insbesondere technische Nischeninnovation.** Damit ist der **Analysefokus** im Wesentlichen räumlich auf die drei Demonstrationsanlagen in Köln (Mülheim, Nippes und Wahn) beschränkt. Über diesen Fokus hinaus richten wir den Blick auch auf die Demonstrationsanlagen **als möglichen Ausgangspunkt** für weitere Umsetzungsmöglichkeiten dieser Abwärmenutzung in Köln beziehungsweise auf relevante Einflussfaktoren, welche diese Form der Abwasserwärmenutzung **im bestehenden Wärmeversorgungs-Regime in Köln** verstärkt zum Einsatz bringen könnte. Darüber soll eine kurze Diskussion der Skalierungsmöglichkeiten und eine Aussage dazu abgeleitet werden, ob diese Form der Abwärmenutzung das Potential haben könnte, die Kopplung von Abwassermanagement und Wärmeversorgung in Köln grundlegender hin zu einer nachhaltigeren Wärmeversorgung zu transformieren.
Im Folgenden **beschreiben und analysieren wir den bisherigen Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln in den drei Demonstrationsanlagen** bis zum heutigen Stand, inklusive einer Analyse der relevanten Faktoren, die zur Umsetzung beigetragen beziehungsweise diese beeinflusst haben. Das Vorgehen folgt dem Analyserahmen für TRAFIS AP 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf Interviews mit an dem Projekt beteiligten Akteuren und Akteurinnen (Anhang 2.2). **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad herauszuarbeiten.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der akteursbezogenen Prozesse, um aufzuzeigen, durch welche Handlungen unterschiedliche Akteure selber Einfluss genommen haben beziehungsweise wie sie mit bestehenden Einflussfaktoren umgegangen sind, um den Entwicklungspfad voranzutreiben und welche Herausforderung dabei bestanden beziehungsweise noch bestehen. Darüber hinaus analysieren wir den Beitrag, den (der Entwicklungspfad für) die Abwasserwärmenutzung zu einer verbesserten Nachhaltigkeit geleistet hat sowie das Potential, das der Entwicklungspfad beziehungsweise die Infrastrukturkopplung besitzt, zu einer Nachhaltigkeitstransformation im Wärmeversorgungsregime in Köln beizutragen.
Wir beschreiben zunächst den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung von der Idee bis zum heutigen Stand (Abschnitt 2). Hierzu benennen wir die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfads sowie die diese Schritte beeinflussenden Faktoren. Im nächsten Schritt analysieren wir die Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfads: Welche Einflussfaktoren und akteursbezogenen Prozesse wirken sich auf die Entwicklungsmomente aus? (Abschnitt 3). Danach beschreiben wir den erzielten Beitrag der Abwasserwärmenutzung zu einer Nachhaltigkeitstransformation (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im Folgenden stellen wir den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung im Rahmen der CELSIUS-Projektumsetzung in Köln von der Projektkonzeption zur Antragsstellung bis zum heutigen Stand anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente vor. Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als insbesondere technische Innovation in einer Nische nachhaltiger Gebäudewärmeversorgung in Bezug zum bestehenden Regime der Gebäudewärmeversorgung (die in Köln hauptsächlich über konventionelle fossile Brennstoffe erfolgt) in der Stadt Köln. Aufgrund der eher kurzen Laufzeit der Demonstrationsanlagen (seit 2013) umfasst der Entwicklungspfad neben der Planung sowie Installation und Betrieb der Demonstrationsanlagen auch einen Ausblicks zum Potential möglicher weiterer Projektumsetzungen in Köln. Abbildung 5 gibt eine visuelle Übersicht über die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfades und die wesentlichen Einflussfaktoren.

Abbildung 5: Der Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln



2.1 Entwicklungsmoment #1: Beteiligung der an der Antragstellung und Projektkonzeption für den Untersuchungsfokus Köln (2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

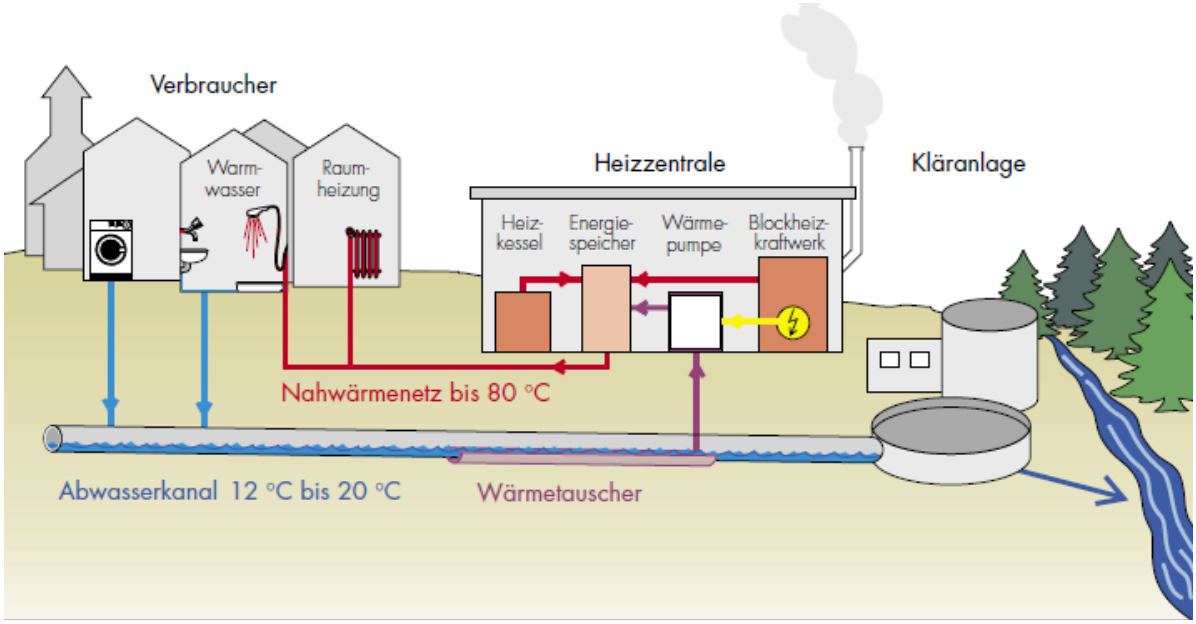
Im Kontext von Klimaschutz und der Nutzung nicht-fossiler Energiequellen stellen insbesondere Städte und Ballungsräume Orte für Innovationen dar (McCormick u. a. 2013; Wolfram und

Frantzeskaki 2016). Großstädte verwenden bis zu 2/3 ihres Energieverbrauchs für die Wärmeversorgung, sodass hier großer Bedarf an nachhaltigeren Lösungen besteht (RheinEnergie AG 2016b). Vor diesem Hintergrund konzipierte ein internationales Konsortium aus fünf Vorreiterstädten (Genua, Göteborg, Köln, London und Rotterdam), Energiedienstleistern und Forschungseinrichtungen im Jahre 2012 das CELSIUS-Projekt im Rahmen eines Forschungsförderantrages unter Horizont 2020 bei der EU-Kommission.[7]
Für Köln hat sich ein im Laufe der Projektkonzeption ein Konsortium aus dem Energieversorgungsunternehmen (EVU) RheinEnergie AG, der Stadt Köln, den Stadtentwässerungsbetrieben sowie der Technischen Hochschule (TH) Köln zusammengefunden. Im Rahmen einer Beteiligung an der Antragstellung für das CELSIUS-Projekt wurde für den Untersuchungsfokus Köln geplant verschiedene technische Optionen zu erproben, um die bisher weitestgehend ungenutzt abgeleitete Wärme aus Abwasser für die Gebäudewärmeversorgung einzusetzen. Dazu sollten an verschiedene technische Lösungen umgesetzt werden, um daraus Erkenntnisse zu technischen Voraussetzungen, Wirtschaftlichkeit, Marktakzeptanz und möglicher Diffusion der Technologie in Köln (und darüber hinaus) abzuleiten.
Die Nutzung von Abwärme ist zwar seit 30 Jahren ein Thema in der Energieversorgung in Köln, dennoch wird trotz vieler Diskussionen und Studien dazu wenig tatsächlich wirtschaftlich umgesetzt. Es gibt einzelne Leuchtturmprojekte, wie zum Beispiel die Müllverbrennungsanlagen in Köln-Niehl, in der Abwärmenutzung in großem Maßstab stattfindet – aber es gibt kaum Nutzung von Abwärme aus mittleren und mittelgroßen Abwärmequellen; das gilt umso mehr für die Abwärmenutzung aus Abwasser, die in Köln bisher keine Rolle spielt (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Im Rahmen der Gebäudewärmeversorgung in Köln findet Abwärme als alternative Energiequelle bisher kaum Einsatz – die Gebäudewärmeversorgung (Haushalte, Industrie, Gewerbe und städtische Gebäude) wird hier ganz überwiegend über leitungsgebundene Energie sichergestellt, insbesondere über Erdgas (ungefähr 50%), gefolgt von Öl (ca. 25%) und Fernwärme (etwa 20%) – dabei sind die Anteile von Gas und auch Öl perspektivisch rückläufig (RheinEnergie AG 2017 mündlich): So betrugen die Anteile in 2008 noch 54,7% für Erdgas, und 27,4% für Öl (ifeu und GERTEC 2012). Auch Fernwärme stagnierte in den letzten 15 Jahren, aber durch den Ausbau des Fernwärmenetzes im rechtsrheinischen Stadtteil Mülheim durch die REAG wird der Anteil der Fernwärme in den nächsten Jahren zunehmen. Die verbleibenden wenigen Prozentpunkte, entfallen auf Nachtstromspeicherheizung (rückläufig) und Wärmepumpen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Die grundlegende Technologie zur Nutzung von Abwasserwärme ist gut erforscht und wird vielerorts zumindest punktuell bereits eingesetzt, beispielsweise im Nordwestbad in Bochum oder im Schwimmbad am Sachsendamm in Berlin oder auch im Rathaus der Stadt Fürth (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013). In der Regel wird über eine Kombination von

[7] Das CELSIUS-Projekt zielt darauf ab, die städtische Wärmeversorgung durch Nutzung nachhaltigerer Energie- beziehungsweise Wärmequellen zu transformieren. Dazu sollen in den fünf beteiligten Städten 13 technisch und ökonomisch innovative Demonstrationsanlagen eingerichtet werden sowie über Kommunikations- und TransferHandlungen 50 weitere Städte dafür gewonnen werden, ihrerseits auch nachhaltigere Wärmeversorgungskonzepte zu konzipieren und dabei auf die Erfahrungen und Konzepte der CELSIUS-Cities zurückzugreifen (Europäische Kommission 2014).

Wärmetauscher und Wärmepumpe zunächst die Wärme des Abwassers über einen Wärmetauscher entnommen und dann zu einer Wärmepumpe geleitet (siehe Abbildung 6). In den Abwasserkanälen werden dort, wo technisch möglich, sogenannte Rinnenwärmetauscher in die Sohle der Kanäle eingebaut, um einerseits dem Abwasser Wärme zu entziehen und andererseits (schmutziges Roh-)Abwasser und Heizsystem zu trennen (Müller u. a. 2005).

Abbildung 6: Schema der Funktionsweise von Abwasserwärmenutzung:



Quelle: Müller u. a. (2005; S. 4) „Funktionsweise von Abwasserwärmenutzung: Die Energierückgewinnung aus Abwasser ist ein sinnvoller Kreislauf“

Über die Wärmetauscher wird die Wärme dann zu einer Wärmepumpe im zu versorgenden Gebäude transportiert und in der Wärmepumpe mittels zusätzlichem Strom (elektrische Wärmepumpe) oder Gasverbrennung (Gaswärmepumpe) erhitzt und dann über ein Kältemittel in den Heizkreislauf eines Gebäudes eingespeist. Die Nutzung von Abwasserwärme zur Gebäudewärmeversorgung stellt in Köln insbesondere eine technische Nischeninnovation dar, da diese Technologie in Köln bisher nicht zum Einsatz in der Wärme- beziehungsweise Kälteversorgung kommt. Jedoch bedeutet die Umsetzung von Abwasserwärmenutzungsprojekten in Köln – wie in den folgenden Entwicklungsmomenten beschrieben wird – auch eine organisatorische Innovation. Die RheinEnergie AG (im Folgenden REAG) ist für die Energie- und auch die Trinkwasserversorgung in Köln zuständig – sie ist zu 80% im Besitz der Stadt Köln und zu 20% im Besitz der RWE Deutschland AG (RheinEnergie AG 2015). Für die Abwasserbeseitigung und die öffentliche Kanalisation (sowie für den Hochwasserschutz) in Köln sind die Stadtentwässerungsbetriebe AöR (im Folgenden StEB) als ein zu 100% im Besitz der Stadt Köln befindliches Kommunalunternehmen zuständig (Stadtentwässerungsbetriebe Köln 2016b). Im Rahmen einer Abwasserwärmenutzung bedarf es der Zusammenarbeit und neuer Prozesse zwischen StEB als Wärmegeber und REAG als

Wärmebezieher zwecks Weitergabe im Rahmen der Energieversorgung (siehe dazu Entwicklungsmoment #4)
Nationale Gesetzgebungen und städtische Initiativen geben grundsätzliche Anreize, sich in Köln mit der Frage einer nachhaltigen Wärmeversorgung auseinanderzusetzen; beispielsweise zielt das Erneuerbare Energien Wärmegesetz (EEWärmeG – siehe hierzu auch unter Entwicklungsmoment #7) zwecks Klimaschutz, Ressourcenschonung und Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten darauf ab, die Wärme- und Kälteversorgung in privaten und öffentlichen Gebäuden nachhaltiger zu gestalten – dazu werden öffentliche und private Bauherren verpflichtet, den Wärmebedarf für neu zu errichtende Gebäude anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken (BMWi 2017). Klimaschutz spielt auch für die Stadt Köln eine zunehmende Rolle – das zeigt nicht zuletzt das integrierte Klimaschutzkonzept, welches die Stadt Köln im Jahre 2009 im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des Bundesumweltministeriums beauftragt hat und das im Jahre 2012 veröffentlicht wurde (Stadt Köln 2013b). So sieht das integrierte Klimaschutzkonzept unter anderem vor, eine Potenzialstudie zur Abwärmenutzung zu erstellen, bei der unter anderem auch Abwasser betrachtet werden soll und eine Umsetzungsstrategie zu erarbeiten, die auch die Auswahl und Umsetzung möglicher Modellprojekte thematisiert (ifeu und GERTEC 2012). Die Projektkonzeption und Beteiligung der Partner in Köln findet vor diesem Hintergrund statt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bestehender technischer Wissensstand – Kenntnisse der Technologie; aus einer Machbarkeitsstudie, welche die REAG zu einem früheren Zeitpunkt zur Überprüfung der Machbarkeit einer Umsetzung an einer Kölner Schule beauftragt hatte, wurde deutlich, dass die Technologie zur Abwasserwärmenutzung seit mehr als 30 Jahren gut erprobt und daher auch grundsätzlich auch gut in Köln einsetzbar sein sollte (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Strahlkraft und finanzielle Unterstützung durch EU-Förderung – Die oben genannte Machbarkeitsstudie ergab auch, dass die Technik an der in den Blick genommenen Kölner Schule wegen hoher Investitionskosten für Leitungsbau (Verlegen der Rohrleitungen bis zum Gebäude) und Heizungsanlage hohe Investitionskosten mit sich bringen würde und wirtschaftlich nicht umsetzbar war (RheinEnergie AG 2017 mündlich; ifeu und Öko-Institut 2010). Entsprechend wurde das Thema als relevant, aber ebenso als ohne weitere finanzielle Förderung nicht machbar angesehen. Vor diesem Hintergrund wurde der Call von der EU aus dem 7. Rahmenprogramm zu SmartCity[8] wegen der finanziellen Fördermöglichkeit sowie der Strahlkraft einer EU-Förderung als eine wichtige Chance zur Realisierung der Technologie betrachtet. Darüber hinaus wollten die Stadt Köln und REAG auch die vielen Handlungen im Bereich Innovation und Umweltschutz, die im Rahmen der SmartCity Cologne Initiative in Köln laufen, klammern und besser sichtbar machen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

[8] Large scale systems for urban area heating and/or cooling supply (Identifikator der Ausschreibung: ENERGY.2012-8.8.2).

- Bestehende Strukturen der Zusammenarbeit – Im Rahmen der zwischen REAG und Stadt Köln gemeinsam gestartete Initiative SmartCity Cologne[9] bestanden bereits partnerschaftliche Kontakte und Kommunikationskanäle zwischen REAG und der Stadt Köln, die für die Beteiligung und Antragstellung förderlich waren. Weiterhin war es für die Projektkonzeption förderlich, dass es im Rahmen der Kooperation mit der Stadt Köln eine gut vernetzte internationale Abteilung gab. Diese hat die Vernetzung mit den späteren Konsortialpartnern professionell betrieben. Das ermöglichte eine kurzfristige Beteiligung am Projektantrag, auch ohne längere Vorplanungszeiträume (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- REAG prüfte hausintern mögliche Projektideen für die Antragstellung; Eine Prüfung, ob Projektideen zur nachhaltigen Wärmeversorgung von Gebäuden vorliegen, mit denen sich die REAG an dem Call beteiligen könnte, ergab, dass der Energiedienstleistungsbereich der REAG bereits konzeptionell an technischen Lösungen zur nachhaltigen Wärmeversorgung durch Abwasserwärmenutzung arbeitete und dazu auch bereits eine Machbarkeitsstudie für Umsetzung dieser Technologie an einer Kölner Schule beauftragt hatte (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- REAG und Stadt Köln greifen auf etablierte Kontakte aus Initiative SmartCity Cologne zurück; die Stadt Köln unterstützte die REAG durch ihre gut vernetzte internationale Abteilung in der Vernetzung mit den späteren Konsortialpartnern (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- REAG und Stadt Köln als Initiator und Know-how-Geber; Stadt Köln und REAG verstehen sich als Beschleuniger und Initiator von Projekten, auch mit Blick auf Fragen der Projektfinanzierung und Wirtschaftlichkeit – hier ist Know-how über Förderprogramme, Förderfähigkeit und Förderbedingungen ein essentieller Punkt. Dieses Know-how wollten die Stadt Köln und die REAG über Beteiligung an der Ausschreibung weiter aufbauen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- REAG und Stadt Köln gewinnen neue Partner; Im Rahmen der Projektkonzipierung für die Antragstellung haben die REAG AG und die Stadt Köln zwei weitere Projektpartner für Köln identifiziert und für eine Beteiligung gewonnen: die Stadtentwässerungsbetriebe AöR (StEB) und die TH Köln als akademischer Partner für technische Fragestellungen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

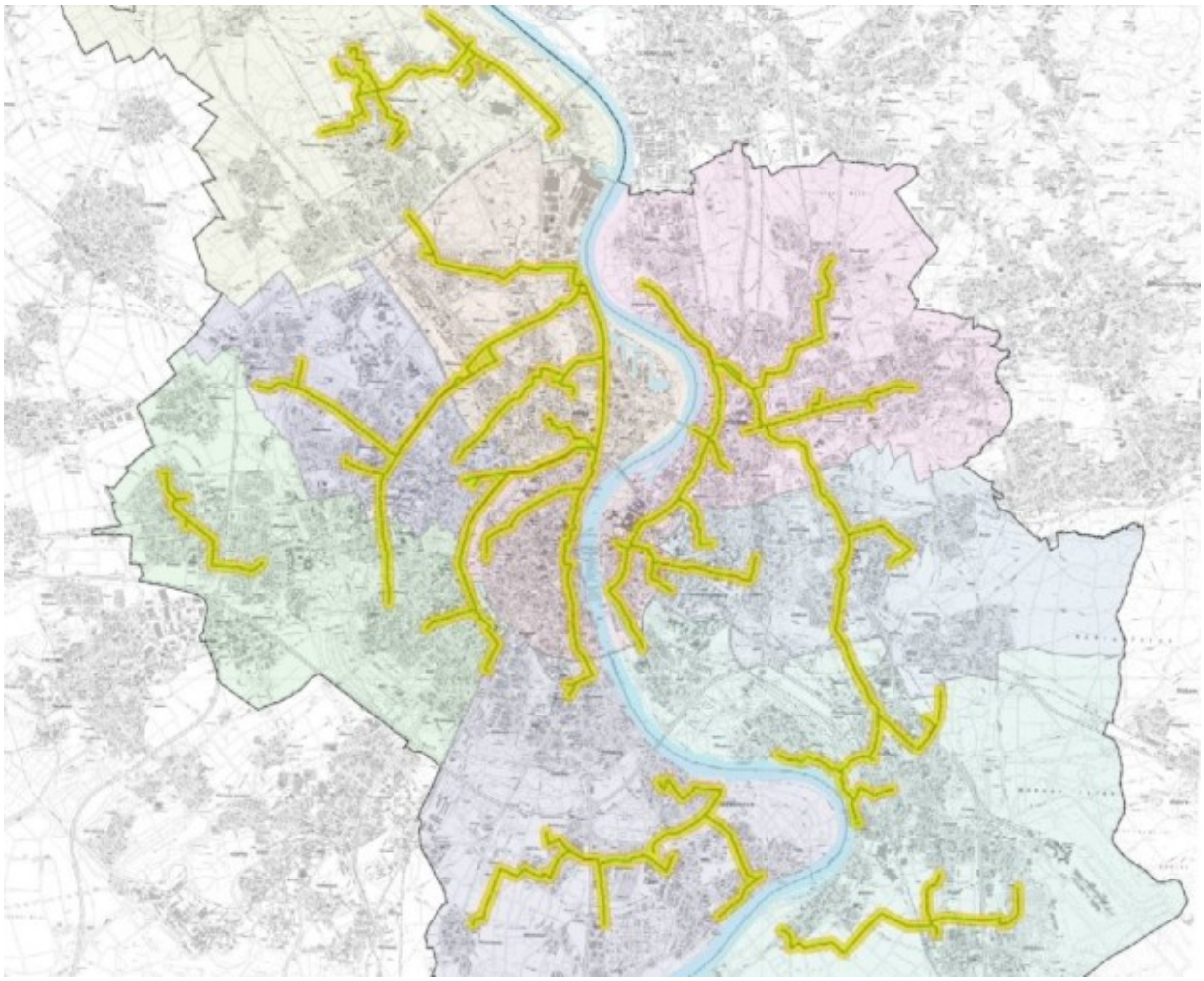
2.2 Entwicklungsmoment #2: Identifikation der Standorte für die Demonstrationsanlagen (2012/2013)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

[9] Die Initiative ist ein gemeinsames Projekt, dass Unternehmen, Verbände und Behörden zusammenbringt, um im Lichte des Klimawandels einen nachhaltigeren und bewussten Umgang mit Energie über neue Technologien und Dienstleistungen zu erproben und dadurch „zusammen die Energiewende um[zu]setzen“ (RheinEnergie AG 2016a).

Um unterschiedliche technologische Verfahren zur Abwasserwärmenutzung zu erproben, sollten im Rahmen des CELSIUS-Projektes in Köln Demonstrationsanlagen an verschiedenen Standorten eingerichtet und betrieben werden. Dazu haben die REAG, die Stadt Köln und die StEB in den Jahren 2012/2013 anhand einer Abwasser-Potentialkarte der StEB (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), drei Standorte für die Einrichtung und Inbetriebnahme von Demonstrationsanlagen ausgewählt. Die Abwasser-Potentialkarte wurde im Projektkontext entwickelt und verzeichnet das Abwassernetz, die Mengen und die Durchflussgrößen – damit zeigt die Karte, aus welchen Abwasserleitungen potentiell Abwärme gewonnen werden kann.

Abbildung 7: Abwasserwärmepotentiale im Kölner Kanalnetz



Quelle: Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2016a) „Abwasserwärmepotentiale im Kölner Kanalnetz“

Diese Informationen aus der Potentialkarte10 sind relevant für die Auswahlentscheidung, denn es müssen infrastrukturseitige und technologische Bedingungen erfüllt sein (siehe dazu auch Abschnitt 4.1), um einen Einsatz der Technologie zur Abwasserwärmenutzung generell zu ermöglichen. Beispielsweise:

- Die Entfernung des Objekts vom Kanal sollte nicht größer als 200 m – eher geringer, da die Tiefbauarbeiten für das Verlegen von Leitungen zum zu versorgenden Gebäude Investitionskosten mit sich bringen, die durch den Anlagenbetrieb erst mal erwirtschaftet werden müssen.
- Die Kanalleitungen müssen mindestens 80cm im Durchschnitt aufweisen.
- Es muss ausreichend Abwasserdurchfluss gegeben sein: der Richtwert beträgt 15 Liter/Sekunde.
- Es sollten möglichst lange und gerade Kanalabschnitte ohne Kurven oder Knicke (mindestens 20m, bei größeren Anlagen sogar mindestens 100m) vorhanden sein, damit Wärmetauscher in den Kanalboden eingebaut werden können, über die die Abwasserwärme entzogen wird.
- Es müssen in solcher Nähe zum Kanal Objekte liegen, die einen möglichst ganzjährig ausgeglichen Wärmebedarf im Niedertemperaturbereich (<70°C) aufweisen, damit die Heizungsanlagen diesen Bedarf auch decken können. Damit eignet sich der Einsatz dieser Technologie insbesondere für Großgebäude oder Gebäudekomplexe, wie öffentliche Einrichtungen (zum Beispiel Schwimmbäder, Schulen, Sporthallen, Verwaltungsgebäude), Gewerbe- und Industriebauten oder Mehrfamilienhäuser und Wohnsiedlungen. Auch Gebäude, die im Sommer Kälteversorgungsbedarf haben, eignen sich für die kombinierte Wärme- und Kälteversorgung mittels Abwasserwärme (DWA 2009; Müller und Butz 2010; Müller u. a. 2005).

Die Abwasser-Potentialkarte zeigt in den gelben Markierungen diejenigen Teile des unterirdischen Kölner Kanalnetzes, die einerseits groß genug für den Einbau von Wärmetauschern sind und in denen andererseits stets eine ausreichende Menge Abwasser strömt, um Potential für eine Abwärmenutzung zu bieten – ob die Abwassermenge für eine geplante Beheizung dann tatsächlich ausreicht, muss in fallspezifischen Untersuchungen ermittelt werden (Stadtentwässerungsbetriebe Köln 2015).
Anhand der Potentialkarte haben REAG, Stadt Köln und StEB ein Matching der öffentlichen Gebäudebestände in Köln mit dem Potential einer Anwendung von Abwasserwärmenutzung vorgenommen. Der Fokus lag dabei auf Schulen (mit Sporthallen). Die weitere Eingrenzung der in Fragen kommenden Schulen erfolgte dann anhand einer Recherche möglicher Schulen in entsprechender Entfernung von den Abwasserkanälen und vielversprechendem potentiellen Wärmbedarf – so stehen am Standort der Demonstrationsanlage in Köln-Nippes insgesamt drei Schulen und in Köln-Wahn zwei, was eine wichtige Voraussetzung zur erfolgreichen Umsetzung dieser Technologie ist (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Sämtliche vorausgewählte

[10] Die Karte ist online verfügbar: URL: https://www.steb-koeln.de/abwasser-und-entwaesserung/der-weg-des-abwassers/der-weg-des-abwassers.jsp, eingesehen am 2.2.2017. Dort herunter scrollen bis zur Überschrift „Kann man die Wärme des Abwassers nutzen?“.

Schulstandorte wurden dann durch Aktenrecherche darauf hin überprüft, wie alt die Heizungsanlagen der Gebäude sind und ob und ggf. wann Sanierungen anstehen. Diese Nachrecherchen ergaben dann, dass anhand dieser Informationen über das Alter von Heizungsanlagen und anstehenden Sanierungsbedarf die drei Standorte Köln-Mühlheim, Köln-Wahn und Köln-Nippes für die Einrichtung von Demonstrationsanlagen in Frage kamen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Sichtbarkeit des im Kanalnetz vorhandenen Abwärmepotentials – Anhand der Abwasserpotentialkarte war es den Projektpartnern möglich, gezielt in Frage kommende Objekte einzugrenzen
- Vorhandenes Potential zur Abwasserwärmenutzung an den Standorten – der Fokus für die Auswahl der Demonstrationsanlagen lag auf Schulen, da dort ein ganzjährig ausgeglichener Wärmebedarf besteht (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Vorhandenes Wissen und Datenverfügbarkeit im Projektkonsortium – durch Nachrecherchen anhand verfügbarer Daten zu Gebäudearten und Sanierungszyklen konnten die Demonstrationsstandorte final ausgewählt werden. (RheinEnergie AG 2017 mündlich)
- Sanierungszyklen der Heizungsanlagen erleichtern Umsetzung der Demonstrationsanlagen – Die Sanierungszyklen der Heizungsanlagen an den Standorten sind günstig für eine Umsetzung der neuen Technologien als Demonstrationsanlagen. Wenn kein Sanierungs- beziehungsweise Modernisierungsbedarf vorliegt, besteht kaum Handlungsgrund die bestehenden Anlagen nur aufgrund neuer verfügbarer Technologien zu ersetzen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Wahrgenommene Möglichkeit der Einflussnahme auf Realisierung der Demonstrationsanlagen – bei öffentlichen Schulen wurde eine eher gute Möglichkeit gesehen, die Umsetzung als Demonstrationsanlage durch „Durchgriff“ der Stadt Köln auf öffentliche Gebäude sowie über Gespräche mit der Schuldirektion auch tatsächlich zu realisieren (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- StEB entwickelte im Projektkontext die Abwasser-Potentialkarte.
- Stadt Köln prüfte verfügbare Gebäudeobjekte in günstiger Entfernung zur Kanalisation und auch das Alter beziehungsweise den Sanierungsbedarf der Heizungsanlagen.
- Verbindung zu Projektpartnern und Kontakte zu Schulen wurden aufgebaut.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Auswahl der Technologien für die Demonstrationsanlagen (2012/2013)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Basierend auf einer Machbarkeitsstudie eines Ingenieurbüros (ECO.S) zur Umsetzung der Abwasserwärmenutzung an den drei Demonstrationsstandorten ermittelten REAG und StEB

anhand der Bedingungen vor Ort die bestgeeignetste technologische Lösung zu Abwasserwärmenutzung. Die Machbarkeitsstudie enthielt sowohl die Vorschläge für unterschiedliche technischen Lösungen als auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Sinne der Fragen: wie hoch wird die Investition sein? Welcher Energieeinsatz ist nötig? Welche Wärmepreise werden erlöst? Wie stellt es sich wirtschaftlich dar?
Ursprünglich beabsichtigte die RheinEnergie AG an den drei Standorten jeweils verschiedene Techniken auszuprobieren, welche auch in der Machbarkeitsstudie untersucht wurden: (1) Rinnenwärmetauscher und Wärmepumpe; (2) Bypass-Technologie, wo das Abwasser aus dem Kanal direkt in den Heizungskeller geleitet wird, und Wärmepumpe; (3) Direktverdampfer mit integrierter Wärmepumpe. Im Rahmen der Feinplanung vor Ort haben dann die Ingenieure der REAG sowie die StEB und Hausmeister der beteiligten Schulen dann die Situation bezüglich der Entfernung zum Kanal, der Form und Größe des Kanals sowie der Größe und Lage des Heizungskellers untersucht.
Im Rahmen dieser Feinplanungen wurde deutlich, dass die Bypass-Technologie (2) nicht in den vorhandenen Raum im Heizungskeller hineinpasst und auch die mit Abstand teuerste Lösung war, die sich trotz der EU-Förderung nicht wirtschaftlich darstellen ließ – entsprechend wurde diese Technologie fallen gelassen (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Daher wurde entschieden, die technische Lösung mittels Rinnenwärmetauscher zweimal zu realisieren und die Technologie mittels Direktverdampfer einmal.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Raumbedarf und hohe Kosten schließen Anwendung einer Abwasserwärmenutzungstechnologie aus – die Bypass-Technologie wurde aufgrund der hohen Kosten für die Anlage und des hohen Raumbedarfs nicht umgesetzt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Ingenieurbüro ECO.S erstellte Machbarkeitsstudien zur Umsetzung an den drei Demonstrationsanlagen: Aus den Machbarkeitsstudien standen Informationen über die Machbarkeit unterschiedlicher technischer Lösungen an den Standorten und auch zu Wirtschaftlichkeitsaspekten zur Verfügung. Das für die Machbarkeitsstudie an den drei Demonstrationsstandorten beauftragte Ingenieurbüros (ECO.S) hat langjährige Erfahrung mit dieser Technologie und in Deutschland bereits ca. 40-50 Anlagen installiert (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Feinplanungen der Demonstrationsanlagen vor Ort; Ingenieure der REAG, StEB und Hausmeister der beteiligten Schulen haben vor Ort Feinplanung der Umsetzung untersucht und damit die Umsetzung der technologischen Lösung an den vorhandenen Kontext anbinden können.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Installation und Betrieb der Demonstrationsanlagen in Köln-Mülheim, Köln-Wahn und Köln-Nippes (seit 2013)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Nach Bewilligung der Förderung[11] durch die EU-Kommission nahm das CELSIUS-Projekt zum April 2013 seine Arbeiten auf. Kenntnis über den Projektzuschlag bestand jedoch schon Ende 2012/Anfang 2013 und die REAG hat bereits dann damit begonnen, die Demonstrationsanlagen einzurichten. Nicht nur, weil damit die Zeit für den Testbetrieb und für das Sammeln der Erfahrungen verlängert werden konnte, sondern auch aufgrund der Förderbedingungen: da im Rahmen des EU-Projektes auch Abschreibung gefördert wird war es das Ziel, die Anlagen möglichst früh in Betrieb nehmen zu können, sodass für diese dann möglichst lange auch die Abschreibung förderfähig ist (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
An den Standorten Köln-Mülheim und Köln-Wahn wurde im Jahre 2013 jeweils auf einer längeren Strecke (zwischen 60 und 120m) des Kanalbodens ein Rinnenwärmetauscher eingesetzt, über den die Abwärme dem Abwasser direkt entnommen und zu den Wärmepumpen in den Heizungskellern der angeschlossenen Schulen transportiert wird (RheinEnergie AG 2016b). In Köln-Mühlheim wird darüber das Hölderlin-Gymnasium mit Wärme versorgt. Hier beträgt die zu beheizende Fläche knapp 13.000 m², die zu installierende Gesamtleistung ca. 1.000 kW (davon 150 kW Wärmepumpe und 850 kW Gaskessel) und der angenommene jährliche Nutzwärmebedarf ca. 850.000 kWh (RheinEnergie AG 2013). In Köln-Wahn werden darüber die Otto-Lilienthal-Realschule und das Maximilian-Kolbe-Gymnasium versorgt. Hier beträgt die zu beheizende Fläche knapp 22.000 m², die zu installierende Gesamtleistung ca. 1.200 kW (davon 200 kW Wärmepumpe und 1.000 kW Gaskessel) und der angenommene jährliche Nutzwärmebedarf ca. 1.220.000 kWh (RheinEnergie AG 2013; RheinEnergie AG 2016c).
In Ergänzung zur eher klassischen Technologie der Abwärmenutzung mittels Rinnenwärmetauscher an den Standorten Köln-Mühlheim und Köln-Wahn wird am dritten Standort (Köln-Nippes) der größte Direktverdampfer (siehe Abbildung 8) in Deutschland (mit einer Leistung von 400 kW) zur Wärmgewinnung eingesetzt. Die Abwasserwärme wird dort genutzt, um in drei benachbarten Schulen (Barbara-von-Sell-Berufskolleg, Edith-Stein-Realschule und Hauptschule) ca. 4.000 Schülerinnen und Schüler sowie zusätzlich eine Sporthalle zu wärmen (RheinEnergie AG 2016c). Die insgesamt zu beheizende Fläche beträgt in diesem Projekt mehr als 28.000 m², die zu installierende Gesamtleistung beläuft sich auf ca. 2.500 kW (davon 400 kW Wärmepumpe/Direktverdampfer und 2.100 kW Gaskessel), bei einem angenommenen Nutzwärmebedarf von ca. 2.130.000 kWh jährlich (RheinEnergie AG 2013).

[11] Das Gesamtprojektvolumen beläuft sich auf ca. 26 Millionen EUR, die EU-Kommission gewährt einen Zuschuss von über 14 Millionen EUR (Europäische Kommission 2014).

Abbildung 8: Direktverdampfer in Köln-Nippes, Standort Edith-Stein-Realschule



Quelle: RheinEnergie AG (2016b)

Im Direktverdampfer wird die Wärme über Wärmetauscherschlangen unmittelbar an das Kältemittel in den Heizkreislauf der drei Schulen übertragen – da damit das Trägermedium als Zwischenmedium zwischen Abwasser und Wärmepumpe entfällt und entsprechend eine Übertragungsschleife wegfällt werden Wärmeverluste verringert und kann die Effizienz um bis zu 15% gesteigert werden (Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH ohne Jahr; RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Am Standort Köln-Nippes werden drei Schulen versorgt, sodass vor Ort ein kleines Nahwärmenetz realisiert werden musste. In der Schule, die dem Kanal am nächsten gelegen ist, musste Platz geschaffen werden für den Direktverdampfer. Zur Straße hin wurden in einem langen und ausreichend großen Kellerraum die entsprechenden Apparaturen installiert – hier stehen die Direktverdampfer. Aus einem ca. 250 Meter entfernt gelegenen unterirdischen Abwasser-Rückhaltebecken wird das Abwasser in diesen Heizungskeller geführt und nach Durchfluss durch den Direktverdampfer wieder in den Kanal geleitet werden (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Die Realisierung der Demonstrationsanlagen erforderte auch eine Form organisatorischer Innovation, da die REAG ihre Wärme nun von einem Dritten (hier der StEB) beziehen musste. Diese organisatorische Kopplung hatte zur Folge, dass mehrfach die Anforderungen der StEB besprochen und abgestimmt sowie Informationen ausgetauscht und Freigaben gegeben werden mussten. Schließlich musste ein zusätzlicher Vertrag zur Abwärmenutzung geschlossen werden, der auch von der Aufsichtsbehörde für die StEB geprüft und freigegeben werden musste. Trotz der insgesamt sehr guten Zusammenarbeit hat dies zu mehrmonatigen zeitlichen Verzögerungen geführt (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Finanzielle Förderung durch die EU – Für die Umsetzung des Abwasserwärmenutzungsprojektes in Köln erhalten die Partner Zuschüsse aus den EU-Projektmitteln:
  - die Stadt Köln erhält eine 100%-ige Förderung in Höhe von 130.000 EUR für Personal, das KlimaschutzHandlungen im Rahmen von SmartCity Cologne (http://www.smartcity-cologne.de/) unterstützt sowie für Handlungen in den weiteren Dienststellen Büro für Internationale Angelegenheiten und dem Umwelt- und Verbraucherschutzamt;
  - REAG erhält zu den veranschlagten Projektkosten von 3,14 Millionen EUR einen Zuschuss in Höhe 1,84 Millionen EUR;
  - der Zuschuss zu den Gesamtkosten der TH Köln von 440.000 EUR für Forschungs- und Auswertungsaufgaben beträgt 300.000 EUR (Stadt Köln 2013a).
- Förderbedingungen der EU-Finanzierung beschleunigen Projektumsetzung – Die Förderfähigkeit der Abschreibung erfordert zeitnahe Inbetriebnahme der Demonstrationsanlagen, um die Abschreibung möglichst lange fördern lassen zu können (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Zeitliche Verzögerungen durch sektorübergreifende Abstimmungsprozesse – Die organisatorische Kopplung beziehungsweise die Abstimmungsprozesse zwischen REAG und StEB hatten zeitliche Verzögerungen in der Realisierung der Demonstrationsanlagen zur Folge. Weiterer nachvollziehbarer Zusatzaufwand entstand bei der Anlage in Köln-Nippes, da die Nahwärmeleitungen durch einen Park verlegt werden mussten. Hierbei forderte das Grünflächenamt, dass die Bäume und Sträucher nicht in Mitleidenschaft gezogen werden durften (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Technologische Anpassungsbedarfe – Der Wärmeentzug des Abwassers im Kanal liegt im Nachkommastellenbereich und hat daher keine negativen Auswirkungen auf die Abwasserbehandlung in der Kläranlage (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
- Bedenken wegen Raumbedarf und Geruchsbelästigung – In den Schulen musste Überzeugungsarbeit geleistet und Aushandlungsprozesse geführt werden, damit die Demonstrationsanlagen eingerichtet werden konnten. Relevante Fragen der Schuldirektionen waren der Raumbedarf für die Heizungsanlagen und in Köln-Nippes aufgrund der Durchleitung von Abwasser durch den Direktverdampfer auch die Sorge für Geruchsbelästigungen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Organisatorische Innovation durch neue Abstimmungsprozesse; REAG und StEB gingen neue Vertragsvereinbarungen ein und unternahmen zusätzliche Abstimmungsprozesse für die Weitergabe der Wärme aus dem Abwasser („Eigentümer“ StEB) an REAG (Wärmeversorger in Köln).
- REAG und StEB klärten technische Passung der Abwärmenutzung mit Wärmebedarf für Abwasserklärung.

- Austausch und Gespräche mit Schuldirektionen erzeugen Akzeptanz; REAG und StEB führten Gespräche mit den Schuldirektionen, um bestehende Bedenken auszuräumen. In einem Fall war der Austausch zum Platzbedarf sogar positiv Anlass dafür, die neben dem Heizungskeller liegende Schulbibliothek zu verlegen. Hier hatte die Schuldirektion schon lange den Wunsch, für die Schulbibliothek einen neuen Ort zu finden. Und in der Neueinrichtung der Heizungsanlage sah sie daher auch die Chance, die Bibliothek endlich zu verlegen. Dadurch konnte der Heizungskeller erweitert werden, sodass dieser dann auch die Anlage fassen konnte. Auch die Frage nach möglicher Geruchsbelästigung konnte in den Gesprächen ausgeräumt werden. (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

2.5 Entwicklungsmoment #5: Identifikation des Potentials zum Einsatz der Technologie in weiteren Objekten (2015 – 2017)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Um das Potential zum Einsatz der Technologie in weiteren Objekten in Köln abzuschätzen, wurde in der Projektlaufzeit eine Master-Arbeit an der TH Köln zu dieser Thematik vergeben. Hierin wurde zur Eingrenzung ein Matching der Abwasserpotentialkarte der StEB mit nach den o.g. naturräumlichen, infrastrukturseitigen und technologischen Bedingungen (siehe DWA 2009) in Frage kommenden potentiellen Wärmeverbrauchern vorgenommen. Dabei wurden dort, wo diese Informationen vorlagen, auch das Alter der Gebäude und Daten zu Sanierungszyklen von Heizungsanlagen einbezogen. (RheinEnergie AG 2017 mündlich)
Im Ergebnis der Untersuchung kämen etwa 650 Objekte in Köln in Frage, die insgesamt einen thermischen Wärmebedarf von 650 GWh aufweisen. Das wurde abgeglichen mit dem gesamten Potential, dass aus Abwasserwärme in Köln gedeckt werden könnte – danach könnten mit diesen 650 Objekten ca. 7% des gesamten Kölner Niedertemperatur-Wärmebedarfs (<70°C; damit fallen viele mögliche Gebäude mit höherem Wärmebedarf, zum Beispiel Krankenhäuser, heraus) zur Gebäudewärmeversorgung gedeckt werden. Da man dann auch mit der Abwasserwärme nur die Grundlast abfahren würde und noch bivalent die Heizspitzen mit Gas decken muss, verringert sich der faktische Anteil weiter auf ca. 2-3% (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bestehendes Interesse an einer Skalierung des Einsatzes der Technologie – Im Rahmen der SmartCity Cologne Handlungen und des Erfahrungsaustauschs mit anderen Städten waren die REAG und die Stadt Köln daran interessiert, das Potential des Einsatzes der Technologie in weiteren Objekten in Köln zu untersuchen. Für die REAG kam noch das Interesse an einer umfangreichen Angebotspalette nachhaltiger Energie- und Wärmelösungen für ihre Kundinnen und Kunden hinzu.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- REAG und Stadt Köln beauftragten eine Master-Arbeit. Die TH Köln setzte die Master-Arbeit um.

- Die Master-Arbeit ermöglichte einen genaueren Blick in das mögliche vorhandene Potential.

2.6 Entwicklungsmoment #6: Umsetzung des Transfers der Erfahrungen in andere Städte (2015 – 2017)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Der Transfer der Erfahrungen zwischen den Partnerstädten und zu anderen interessierten Städten ist ein wesentlicher Bestandteil im CELSIUS-Projekt. Entsprechend bietet CELSIUS den Interessenten aus den rund 70 FollowerCities, die im Projektkontext gewonnen werden konnten, vielfältige Angebote zum Wissenstransfer an – beispielsweise ein Wiki, das sehr viele Informationen (auch über Abwasserwärmenutzung) enthält. Die Stadt Köln und die REAG sind zwar eher Informationsgeber als -empfänger, haben aber durch den Transfer den Vorteil, dass sie auch von den Erfahrungen in den anderen Städten profitieren sowie sich (weiter) als Vorreiter präsentieren und ihre Kompetenzen im Bereich nachhaltiger Wärme- und Energieversorgungslösungen bekannt machen können. So kamen während der Projektlaufzeit beispielsweise unter anderem auch Anfragen aus London und Frankreich zu den Demonstrationsanlagen, weil man dort ebenfalls derartige Anlagen plant (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Mit offiziellem Projektende des CELSIUS-Projektes im März 2017 wird innerhalb des CELSIUS-Konsortiums gerade überlegt, ein CELSIUS Nachfolgeprojekt zu realisieren, um weder das in der Projektlaufzeit gemeinsam erarbeitete Wiki, noch das das Netzwerk der etwa 70 FollowerCities entstanden ist, mit Projektende zu verlieren.
Beim Transfer kommt es auch darauf an, die Erfolgsfaktoren beziehungsweise Hindernisse einer Realisierung zu thematisieren. Während die o.g. infrastrukturseitigen und technologischen Bedingungen (siehe DWA 2009) vielerorts in Großstädten in Mitteleuropa gegeben beziehungsweise erreichbar sein sollten, hängt die tatsächliche Realisierung stark vom jeweiligen Umsetzungskontext ab. Das heißt, dass die Faktoren, die im jeweiligen Kontext Einfluss auf die Realisierung der Technologie in einer Stadt genommen haben, im Sinne einer Transferleistung auf mögliche Passung für den Anwendungskontext in einer anderen Stadt untersucht werden müssen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bestehendes Interesse an Wissenstransfer – Im Rahmen der SmartCity Cologne Handlungen waren die REAG und die Stadt Köln am Erfahrungsaustausch mit anderen Städten interessiert.
- Finanzieller und zeitlicher Bedarf für Wissenstransfer – Der Umfang an Transferunterstützung, wie er im Rahmen von CELSIUS erfolgt, ist für die REAG nur mit finanzieller Förderung möglich. Das, was REAG im Bereich normaler Transferunterstützung unternehmen kann, wird bei REAG bereits gemacht. Der Transfer von Know-how kann darüber hinaus aber nur begrenzt geleistet werden, weil er Personal und Zeit bindet und dafür gen Projektende keine weiteren Finanzmittel zur Verfügung stehen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- REAG und Stadt Köln fördern den Transfer der Erfahrungen in Köln innerhalb des CELSIUS-FollowerCities-Netzwerkes.

2.7 Heutiger Stand

Beschreibung des heutigen Stands der Infrastrukturkopplung:
Die Anlagen in Köln-Mühlheim und Köln-Wahn funktionieren reibungslos. Allerdings läuft die Anlage in Köln-Nippes bis heute nicht im Normalbetrieb. Der Abwassertransport von der Entnahmestelle funktioniert nicht gut und die Pumpen verstopfen immer wieder. Dort wurden viele zusätzliche Apparaturen vorgeschaltet, ein Sieb und Zerkleinerer und der Betrieb scheint seither besser zu klappen. Auch ist unklar, ob die Wärmetauscherschlangen vom Volumen her groß genug sind, um die geforderte Heizleistung zu bringen. Das kann jedoch noch nicht abschließend beurteilt werden, weil die Anlage wegen Verstopfung noch nicht lang genug kontinuierlich gelaufen ist. Die Wärmeversorgung der Schulen war dennoch zu jeder Zeit sichergestellt, weil die Anlage redundant aufgebaut ist. Die im bivalenten Konzept ohnehin geplanten Spitzenkessel wurden aus Sicherheitsgründen so groß ausgelegt, dass sie zur Not auch alleine in der Lage sind, die Schulen mit Wärme zu versorgen (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Alle drei Demonstrationsanlagen sind mit einem sparsamen Erdgas-Brennwertkessel zur Spitzenlastabdeckung ausgestattet (RheinEnergie AG 2016c).
Die in Nippes gebaute Anlage ist nach Informationen der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) die mit Abstand größte Anlage dieses Typs in Deutschland – das bedeutet auch einen Anreiz für die REAG, diese Anlage in den reibungslosen Betrieb zu bringen (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Bei der unter Entwicklungsmoment #2 (Identifikation der Standorte und der Technologien für die Demonstrationsanlagen) genannten Bypass-Technik wird das Verstopfungsproblem der Direktverdampferanlage dadurch umgangen, dass ein Schacht neben einem unterirdischen Rückhaltebecken gebaut wird und über eine Hebespirale alle Feststoffe aus dem Abwasser entfernt werden – so bleibt nur das Grau-/Braunwasser übrig und kommt in den Verdampfer (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Damit scheint man das Verstopfungsproblem lösen zu können, sodass bei der REAG hierzu Überlegungen laufen, ob diese Technik in Nippes zusätzlich zum Einsatz gebracht werden sollte. Dennoch führte das zur Erkenntnis bei der REAG, für weitere Projektrealisierungen zur Abwasserwärmenutzung doch tendenziell auf Rinnenwärmetauscher zu setzen, da dadurch das Abwasser hier im Kanal verbleibt und man trotz etwas geringerem Wirkungsgrad viele der hier genannten Problem erspart (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Die Wärmetauscher in den Kanalsträngen an beiden Standorten Köln-Mülheim und Köln-Wahn leisten bis heute einwandfrei ihren Dienst. Auch die StEB sind zufrieden, da sie über den Einbau der Rinnenwärmetauscher ein Stück mit Edelstahl ausgelegten Kanalboden haben, was für das Abwasserdurchfluss von Vorteil ist (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Die Zusammenarbeit zwischen den vier Projektpartnern in Köln ist sehr gut und hat die notwendigen Planungs- und Umsetzungsprozesse in Köln stark befördert. So hat die Kooperation mit der TH Köln auch über den CELSIUS-Kontext hinaus positive Wirkungen –

mittlerweile gibt es 4 weitere konkrete Projekte mit der TH Köln, bei denen sich die Zusammenarbeit weiterentwickelt hat und die REAG tritt auch als Partner in Lehrveranstaltungen an der TH auf und speist Projektbeispiele zu Praxisanwendungsfällen ein, die Studierende der TH dann bearbeiten. Auch für das Recruiting ist diese Zusammenarbeit positiv (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Über die drei Demonstrationsanlagen hinaus gab es bis Februar 2017 noch keine weiteren Objekte mit konkreten Interessensbekundungen beziehungsweise Planungen für eine Umsetzung der Technologie – weitere Objekte, die anhand des oben beschriebenen Vorgehens eingegrenzt werden konnten und bei denen auch ein Eigentümerwechsel anstand, kamen schlussendlich aufgrund nicht passender Sanierungszyklen der Heizungsanlagen nicht in Frage (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Die bisher fehlende Nachfrage beziehungsweise das Fehlen weitere in Frage kommende Objekte erklärt sich jedoch nicht nur anhand der Schwierigkeit, Daten zu Sanierungszyklen zu erhalten. Darüber hinaus werden auch die komplexen technischen Realisierungsanforderungen (so müssen die Energiemengen der Abwärme zum Wärmebedarf sowie das Temperaturniveau und die Verfügbarkeit passen) und die hohen Investitionskosten (insbesondere für das Verlegen der Leitungen zum Objekt und je nach Technologie der Abwasserwärmenutzung auch für die Heizungsanlagen) als Argument ins Feld geführt (ifeu und Öko-Institut 2010; RheinEnergie AG 2017 mündlich). Insbesondere mit Blick auf die Kosten für das Verlegen von Leitungen stellt die Entfernung des zu versorgenden Objekts zum Kanal ein wichtiges Kriterium dar. Hierzu stehen über die Abwasser-Potentialkarte der StEB insgesamt neun Stadtteil-spezifische Kartenausschnitte zur Verfügung: für die Stadtteile Chorweiler, Ehrenfeld, Innenstadt, Kalk, Lindenthal, Mülheim, Nippes, Porz und Rodenkirchen. Diese Ausschnitte weisen in höherer Auflösung zusätzlich noch Pufferzonen von jeweils 50 m Breite um die Kanalstränge herum aus. Damit sollen Interessierte Möglichkeiten für die Abschätzung erhalten, wie weit ihr Gebäude vom jeweiligen Kanal entfernt liegt und wie viele Meter Rohre entsprechend verlegt werden müssen (Stadtentwässerungsbetriebe Köln 2015).
Die Wirtschaftlichkeit von Abwasserwärmenutzung hängt neben der Investitionskostenhöhe noch von der Höhe des Wärmebedarfs und dem akzeptierten Wärmepreis ab. Die Höhe der Investition ergibt sich aus den Bedingungen vor Ort, also Entfernung zwischen Gebäude und Kanal, Kanalform und -verlauf, aber auch der technischen. Auslegung. Gute Bedingungen können im Vergleich zu schlechten die Investition maßgeblich drücken. Ebenso wichtig ist ein möglichst ganzjähriger hoher Wärmebedarf, um die vergleichsweise hohe Investition zu amortisieren. Und schließlich sollten Nutzer dieser Technik bereit sein, im Vergleich mit einer reinen Erdgastechnik einen 5-10% höheren Wärmepreis zu bezahlen. Bei Kunden, die sich zum Beispiel für eine Erdwärmepumpe entschieden haben, ist diese Bereitschaft vorhanden (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Um die Akzeptanz der Technologie bei Nutzenden zu erhöhen realisiert die REAG als Energieversorgung in Köln in der Regel über Contracting-Lösungen: die REAG investiert und baut und garantiert dem Kunden die Wärmeversorgung, währen der Kunde Investition, Bau, und Betrieb über den Wärmepreis refinanziert – so werden dem Kunden Hemmnisse aus der Finanzierung oder Risiken aus dem Betrieb genommen (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Staatliche Rahmenbedingungen können ebenfalls hemmend, aber auch unterstützend auf das zukünftige Potential der Nutzung der Abwasserwärmetechnologie wirken. Als hemmend für eine weitere Abwasserwärmenutzung hat sich die Mietrechtsnovelle von vor ca. 2 Jahren ausgewirkt, insbesondere im Gebäudebestand. Danach darf bei der Sanierung der Energieanlage der Energiepreis nach der Sanierung nicht höher sein als davor, sodass die höheren Kosten bei Nutzung von Abwasserwärme nicht einfach auf die Mietkosten umgelegt werden können und dadurch diese Abwärmenutzung nicht ermutigt wird (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Förderlich hingegen ist das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Im Laufe der Zeit sind die Nachfrage und das Interesse an nachhaltigen Wärmeerzeugungslösungen gestiegen. Das EEWärmeG befördert die Verbreitung von Abwasserwärmenutzung, da die Nutzung von Abwasserwärme nach EEWärmeG in Verbindung mit der Energie-Einspar-Verordnung (EnEV) eine der anerkannten Ersatzmaßnahmen beziehungsweise regenerativen Energiequellen darstellt und der Nutzung von Energie aus Biomasse und Sonne gleichgestellt ist (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013; Stodtmeister 2015; RheinEnergie AG 2017 mündlich). Um das EEWärmeG als Triebkraft dafür zu nutzen, dass mehr Kundinnen und Kunden die Contracting-Lösungen der REAG in Anspruch nehmen, bietet die REAG entsprechend ein breites Angebot technischer Contracting-Lösungen an, die nach EEWärmeEG anerkannt sind: von effizienten Brennwertthermen über BHKH, Wärmepumpe bis zur Abwasserwärmepumpe, Solarthermie, Holzpelletkessel (RheinEnergie AG 2017 mündlich).

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Probleme mit der Technik – Technische Probleme verhindern einen kontinuierlichen Betrieb der Direktverdampferanlage in Köln-Nippes. Die Besonderheit der Direktverdampferanlage in Köln-Nippes als deutschlandweit größte Anlage dieser Art treibt Wunsch nach einer Lösung der technischen Probleme. Mit der Bypass-Technologie besteht eine, kostenintensive, technische Option, diese Probleme zu lösen.
- Förderlicher rechtlicher Rahmen – das EEWärmeG fordert einen gewissen Anteil von Wärme- beziehungsweise Kälteversorgung aus erneuerbaren Energien und erkennt dazu auch Abwasserwärme an.
- Hohe Investitionskosten mindern die Wirtschaftlichkeit der Technologie – hohe Investitionskosten können Interesse an der Technologie schmälern und führen dazu, dass für eine Amortisation höhere Wärmepreise erzielt werden müssen.
- Akzeptanz höherer Wärmepreise bei spezifischem Kundensegment macht weitere AbnehmerInnen denkbar – bei einem Kundinnen und Kundensegment der REAG ist die Bereitschaft zur Zahlung höherer Wärmepreise vorhanden, was die Amortisation der Abwasserwärmenutzungstechnologie fördert und damit eine Erweiterung der AbnehmerInnenkreise potentiell ermöglicht.

Der heutige Stand wird von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Breite Angebotspalette für nachhaltige Energie- und Wärmeversorgung; REAG bietet eine breite Palette nach EEWärmeG anerkannter Wärme-Lösungen über Contracting an, sodass das Investitionsrisiko bei der REAG verbleibt und die Kundinnen und Kunden

trotz etwas höherer Wärmepreise die Sicherheit haben, dass die in Anspruch genommenen Lösungen auch die Anforderungen aus dem EEWärmeG erfüllen.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung für die Abwasserwärmenutzung im CELSIUS-Projektkontext in Köln ist gekennzeichnet durch vielzählige Veränderungsdynamiken zwischen Einflussfaktoren, die sich aus dem Kontext des Systems ergeben, in welchem die Abwasserwärmenutzung bisher umgesetzt wurde, und Akteuren und ihrer Handlungen. In der folgenden Tabelle 4 geben wir einen Überblick über

- die verschiedenen Einflussfaktoren, welche in den Beschreibungen in Abschnitt 2 identifiziert wurden,
- deren jeweils unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Verlauf des Entwicklungspfads
- unterschiedliche Akteure und ihre Handlungen im Kontext dieser Einflussfaktoren umgegangen sind.

Tabelle 4: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Beteiligung der an der Antragstellung und Projektkonzeption für den Untersuchungsfokus Köln (2011-2012)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* bestehender technischer Wissensstand	*Unterstützend*: wesentliche Eckpunkte, mögliche Vorteile und grundsätzlich gute Passung auf Köln waren bekannt	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* gemeinsame Initiative „SmartCity Cologne“, bildet Ausgangspunkt für Beteiligung an EU-Ausschreibung und ermöglicht, auf bestehenden Kontakten aufzubauen *Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Erfahrungen aus Köln sollen in überregionalen, internationalen Austausch eingebracht werden, damit andere Städte von den Erfahrungen profitieren können *Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Die Stadt Köln und REAG konnten als wichtige Partner die StEB, welche das Kanalnetz in Köln betreiben, und die TH Köln als 1. Adresse für technologische Forschung in Köln und als nach EU-Förderkriterien benötigter akademischer Partner gewinnen
	Anreize und Regulierungen: Chance auf Realisierung der Technologie durch EU-Förderung	*Unterstützend*: Strahlkraft einer EU-Förderung unterstützend für SmartCity Cologne Handlungen	
	Lokale institutionelle Strukturen: bestehende Strukturen der Zusammenarbeit in Köln	*Unterstützend*: bestehende Kontakte/Strukturen ermöglichen kurzfristige Beteiligung an Antrag; zusätzliche Kompetenzen stärken Chance auf Realisierung der Technologie	
#2: Identifikation der Standorte für die Demonstrationsanlagen (2012/2013)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Sichtbarkeit des grundsätzlich nutzbaren Wärmepotentials im Kölner Kanalnetz	*Unterstützend*: Abwasserpotentialkarte vereinfacht Auswahl von potentiell für die Abwasserwärmenutzung in Frage kommenden Objekten	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* REAG, Stadt Köln und StEB nehmen ein Matching der öffentlichen Gebäudebestände in Köln mit der Abwasserpotentialkarte vor. ExpertInnen für öffentliche Liegenschaften der Stadt Köln raten einen Fokus auf Schulen (mit Sporthallen) beziehungsweise Schulkomplexe an, da dort die
	Lokale institutionelle Strukturen: - vorhandenes Wissen und Datenverfügbarkeit im Projektkonsortium	*Unterstützend*: Kenntnisse öffentlicher Gebäude und Sanierungsbedarf der Heizungsanlagen vereinfachen Objekt-Auswahl	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): vorhandenes Abwasserwärmepotential; Sanierungszyklen der Heizungsanlagen	*Unterstützend*: ausgeglichener Niedertemperatur-Wärmebedarf gegeben; Sanierungsbedarf erleichtert Realisierung der Anlagen	Bedingungen für den Einbau dieser Technologie als Demonstrationsanlage eher gut sind. Recherchen der Stadt Köln zum Alter der Heizungsanlagen der Gebäude und der Sanierungszyklen der Heizungsanlagen ermöglicht nähere Eingrenzung der in Frage kommenden Objekte auf die drei Standorte Köln-Mühlheim, Köln-Wahn und Köln-Nippes.
	Lokale institutionelle Strukturen: - Wahrgenommene Möglichkeit der Einflussnahme auf Realisierung der Demonstrationsanlagen	*Unterstützend:* Demonstrationsanlage durch „Durchgriff der Stadt“ und entsprechende Gespräche mit Schuldirektion realisierbar	
#3: Auswahl der Technologien für die Demonstrationsanlagen (2012/2013)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Machbarkeitsstudie zur Technik/ Wirtschaftlichkeit	*Unterstützend*: Machbarkeitsstudie unterstützt Feinplanungen vor Ort für konkrete technische Ausgestaltung der Demonstrationsanlagen	*Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Eine Machbarkeitsstudie der Firma ECO.S zur Technik/Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Technologien an den Demonstrationsanlagen unterstützt Feinplanungen vor Ort für konkrete technische Ausgestaltung der Demonstrationsanlagen *Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Ingenieure der REAG sowie die StEB und Hausmeister der beteiligten Schulen führten Feinplanung der Anlagen vor Ort durch (Entfernung zum Kanal, Form/Größe Kanal, Größe/ Lage Heizungskeller), um Entscheidung für Technologie zu treffen
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Platzbedarf und Investitionskosten für anvisierte technische Lösungen	*Hemmend:* verfügbarer Platz in Heizungskeller nicht ausreichend; Realisierung der technischen Lösung sehr kostenintensiv	*Herausforderung für Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Feinplanungen verdeutlichten, dass die in der Machbarkeitsstudie untersuchte Bypass-Technologie nicht in vorhandenen Raum im

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Heizungskeller hineinpasst und auch wirtschaftlich nicht darstellbar
#4: Installation und Betrieb der Demonstrationsanlagen (seit 2013)	*Anreize und Regulierungen:* Finanzielle Förderung durch die EU	*Unterstützend:* erlaubt Erprobung unterschiedlicher Technologien zur Abwasserwärmenutzung; Förderbedingungen setzen Anreiz für schnelle Inbetriebnahme der Anlagen	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* finanzielle Förderung ermöglicht eine Erprobung der Technologien und setzt Anreize für eine schnelle Realisierung der Anlagen => längere Erprobungszeiten *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Abstimmungen zwischen REAG und StEB machen technische Passung der Abwasserwärmenutzung mit Anforderungen der StEB an Kanalnetzbetrieb deutlich und unterstützen Umsetzung der Demonstrationsanlagen *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* REAG sowie StEB führten Gespräche mit Direktionen der beteiligten Schulen und konnten so Bedenken wegen Platzproblemen und Geruchsbelästigungen ausräumen *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung)*: REAG betrat Neuland durch Bezug der Abwärme für ihre Kunden von Dritten (hier StEB). Das erforderte neben Abstimmungen mit der StEB auch Informationen und Freigaben von der StEB sowie den Abschluss eines zusätzlichen Vertrags zur
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): technische Passung der Abwärmenutzung mit dem Wärmebedarf für Abwasserklärung	*Unterstützend:* Wärmeentzug des Abwassers hat keine negativen Auswirkungen auf die Abwasserbehandlung in Kläranlage	
	Sozio-kulturelle Faktoren: Bedenken wegen Raumbedarf und Geruchsbelästigung	*Hemmend:* Am Standort Köln-Nippes Bedenken wegen Geruchsbelästigung, da Abwasser direkt in den Heizungskeller geführt wird	
	Lokale institutionelle Strukturen: zeitliche Verzögerungen durch sektorübergreifende Abstimmung	*Hemmend:* Zusatzaufwand und zeitliche Verzögerungen bei der Umsetzung der Anlagen	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Abwärmenutzung. Trotz der insgesamt sehr guten Zusammenarbeit hat dies zu mehrmonatigen zeitlichen Verzögerungen geführt.
#5: Identifikation des Potentials zum Einsatz der Technologie (2015 – 2017)	*Lokale institutionelle Strukturen:* bestehendes Interesse an Skalierung des Einsatzes der Technologie	*Unterstützend*: das bestehende Interesse mündet in einer Ermittlung des möglichen Potentials der Nutzung der Technologie in Köln	*Herausforderung für Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Das Potential ist zwar eher gering, stellt aber ein vielerorts in Köln verfügbares Potential in Aussicht
#6: Umsetzung des Transfers in andere Städte (2015 – 2017)	*Lokale institutionelle Strukturen:* bestehendes Interesse am Wissenstransfer im Rahmen der SmartCity Cologne Handlungen; TransferHandlungen im Projektkontext erfordern Zeit und Personal	*Unterstützend:* bestehendes Interesse am Wissenstransfer bei REAG und Stadt Köln *Hemmend*: verfügbare Finanzmittel aus EU-Projekt fast erschöpft	*Herausforderungen für Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* REAG unterstützt TransferHandlungen (beispielsweise Anfragen aus London und Frankreich zu den Demonstrationsanlagen); weiterer Transfer nur sehr begrenzt möglich, weil er Personal und Zeit bindet und die hierfür verfügbaren Finanzmittel fast erschöpft sind.
Heutiger Stand	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Probleme mit der Demonstrationsanlage in Köln-Nippes	*Hemmend:* technische Schwierigkeiten mit dem Direktverdampfer (Verstopfung) behindern kontinuierlichen Betrieb der Anlage	*Herausforderung für Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Anlage in Köln-Nippes läuft nicht im Normalbetrieb, da Pumpen immer wieder verstopfen; viele zusätzliche Apparaturen wurden vorgeschaltet (Sieb und Zerkleinerer) und Betrieb scheint robuster
		Unterstützend: Besonderheit der Anlage als deutschlandweit größte Anlage; verfügbare technische Optionen, um den Betrieb der Anlage in Köln-Nippes zu gewährleisten	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* REAG überlegt, Bypass-Technologie (siehe Entwicklungsmoment #2) zu installieren, um einen kontinuierlichen Betrieb des Direktverdampfers zu gewährleisten *Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* REAG setzt für

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			weitere Projektrealisierungen zur Abwasserwärmenutzung tendenziell auf Rinnenwärmetauscher, da dadurch das Abwasser im Kanal verbleibt und man trotz geringerem Wirkungsgrad andere Probleme umgeht
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): hohe Investitionskosten mindern die Wirtschaftlichkeit der Technologie	*Hemmend*: hohe Investitionskosten für die Nutzung von Abwasserwärme erfordern Wärmepreise, die eine Amortisation erlauben und dennoch akzeptabel für Abnehmerinnen und Abnehmer sind; Wirtschaftlichkeit hängt damit von Höhe des Wärmebedarfs und akzeptiertem Wärmepreis ab	*Herausforderung für Setzen von Rahmenbedingungen (Orchestrierend):* Vergleichsweise hohe Investitionskosten und für eine Amortisation erforderliche Wärmepreise stellen Herausforderungen für Wirtschaftlichkeit der Technologie für die REAG dar; Technologieskalierung und -transfer würden von staatlicher finanzieller Unterstützung profitieren, diese fehlt jedoch
	Sozio-kulturelle Faktoren: erlösbare Wärmepreise fraglich bezüglich Akzeptanz		*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* REAG unterstützt die Vermarktung der Innovation, in dem sie Contracting-Lösungen realisiert, um Akzeptanz der Technologie zu erhöhen; höhere Zahlungsbereitschaft bei Kunden z.T. vorhanden
	Anreize und Regulierungen: EEWärmeG legt Abwasserwärmenutzung als eine anerkannte regenerative Energiequelle fest	*Unterstützend:* EEWärmeG befördert Verbreitung von Abwasserwärmenutzung, da Abwasserwärmenutzung nach EEWärmeG eine anerkannten Ersatzmaßnahme beziehungsweise regenerativen Energiequelle	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Um das EEWärmeG als Triebkraft zu nutzen, bietet REAG ein breites Angebot nach EEWärmeEG anerkannter Contracting-Lösungen: von effizienten Brennwertthermen über BHKH, Wärmepumpe bis zur Abwasserwärmepumpe, Solarthermie, Holzpelletkessel
	Anreize und Regulierungen: Mietrechtsnovelle regelt Energiepreis	*Hemmend:* Mietrechtsnovelle legt fest, dass Energiepreis nach Sanierung einer Energieanlage nicht	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	im Kontext von Sanierungen der Energieanlagen	höher sein darf, sodass die höheren Kosten bei Nutzung von Abwasserwärme nicht einfach auf die Mietkosten umgelegt werden können – negativer Anreiz für die Abwasserwärmenutzung	

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung durch Demonstrationsanlagen im Rahmen des CELSIUS-Projektes in Köln kamen im Verlauf der Entwicklungsmomente unterschiedliche Entwicklungsfaktoren zum Tragen, welche unterstützend und/oder hemmend auf die einzelnen Entwicklungsmomente eingewirkt haben. Gemäß der Analysebefunden überwiegen dabei unterstützende Faktoren, während hemmende Faktoren in vielen Fällen dazu geführt haben, weitere ProjektHandlungen auszuführen, die dann wiederum unterstützend gewirkt haben. Im Folgenden werden die wesentlichen fünf Kategorien an Einflussfaktoren (kursiv dargestellt) und ihre relevanten Wirkungen beschrieben.

1. Aspekte *der technischen Entwicklungen* wirken sich unterstützend und hemmend im Verlauf des Entwicklungspfades aus und haben zu FolgeHandlungen der beteiligten Akteure geführt. So waren beispielsweise vorhandenes Wissen beziehungsweise verfügbare Erkenntnisse zur Machbarkeit und Wirtschaftlichkeitsaspekten ausschlaggebend für eine Beteiligung des Projektpartners REAG an der Projektantragstellung sowie für die Auswahl der letztlich in den Demonstrationsanlagen umgesetzten technologischen Lösungen. Des Weiteren war die Sichtbarkeit des grundsätzlich nutzbaren Abwasserwärmepotentials im Kölner Kanalnetz anhand der vorliegenden Abwasserpotentialkarte der StEB ein wesentlicher Faktor, der die Auswahl von Standorten für die Demonstrationsanlagen und auch der technologischen Umsetzung vor Ort ermöglicht beziehungsweise unterstützt hat. Eine Master-Arbeit an der TH Köln hat im Entwicklungsmoment #5: Identifikation des Potentials zum Einsatz der Technologie maßgeblich zur Ermittlung des möglichen Potentials der Abwasserwärmenutzung in Köln beigetragen. Eine gute technische Passung der Technologie, dem Abwasser mittels Rinnenwärmetauschern Wärme zu entziehen, mit dem Abwassertemperaturbedarf für eine Abwasserklärung führte dazu, dass die öffentlichen Aufgaben der StEB auch bei Abwasserwärmenutzung uneingeschränkt ausgeführt werden können. Mit Blick auf die technischen Probleme mit der Demonstrationsanlage in Köln-Nippes (heutiger Stand, EM#7) wurden verschiedene zusätzliche technische Einrichtungen vorgeschaltet (Siebe, Zerkleinerer), sodass die Anlagen besser läuft. Darüber hinaus steht mit der Bypass-Technologie noch eine weitere technologische Option zur Verfügung, die zwar teurer ist, aber die technischen Probleme mit der Anlage vermutlich langfristig beseitigen und so den kontinuierlichen Einsatz der Anlage gewährleisten könnte. Als grundlegend hemmende Wirkung wurden die hohen Investitionskosten identifiziert, die mit Nutzung der Technologie zur Gewinnung von Wärme aus Abwasser einhergeht – die Kosten entstehen insbesondere für den Einbau und die Einrichtung der Wärmetauscher- beziehungsweise der Heizungsanlagen sowie für das Verlegen von Leitungen vom Kanal zur Heizungsanlage. Die hohen Investitionskosten erfordern dann Wärmepreise, welche sowohl eine Amortisation erlauben als auch akzeptabel für die AbnehmerInnen sind. Weitere Kosten entstehen je nach Wahl der eingesetzten Technologie: So war eine der ursprünglich drei technologischen Lösungen, die zur Umsetzung als Demonstrationsanlagen eingesetzt werden sollten, technologieseitig zu teuer und benötigte auch mehr Platz, als am Standort verfügbar bar. An der fehlenden Wirtschaftlichkeit konnte auch die EU-Förderung nichts ändern. Das hat dazu geführt, dass statt drei unterschiedlicher

Technologien an den drei Demonstrationsstandorten letztlich nur zwei Technologien eingesetzt wurden. Weiterhin hemmend wirkt sich der Sanierungsbedarf der Heizungsanlagen aus – da nur dann, wenn auch ein Sanierungsbedarf vorliegt, die Heizungsanlagen durch solche ersetzt werden, die für eine Abwasserwärmenutzung erforderlich sind, schränkt der Sanierungsbedarf die Auswahl möglicher in Frage kommender Objekte stark ein. Auch ist es schwierig, an das Wissen über Sanierungsbedarfe für eine Planung heranzukommen.

2. Anreize und Regulierungen wirken sich im Entwicklungspfad in Köln eher unterstützend, aber auch in einem Fall hemmend aus. So stellt die potentielle Chance auf Realisierung der Technologie zur Abwasserwärmenutzung durch eine EU-Förderung einen starken Anreiz für die REAG dar, sich an der Antragsstellung zu beteiligen, um diese Technologie im Rahmen von Demonstrationsanlagen zu erproben und dann zu einem Teil ihrer Angebotspalette zu machen und ihre Erfahrungen im Rahmen von SmartCity-Handlungen auch überregional zu transferieren (EM#1). Weiterhin waren auch Aspekte staatlicher Regulierung als Einflussfaktoren wirksam: Während das EEWärmeG förderlich für die Inanspruchnahme von Abwasserwärmenutzung ist, weil es Abwasserwärmenutzung als eine anerkannte regenerative Energiequelle festlegt und so die Verbreitung von Abwasserwärmenutzung unterstützt, wirkt sich die Mietrechtsnovelle über Ausschluss höherer Energiepreise für Mieterinnen und Mieter nach einer Sanierung von Energieanlagen hemmend aus, da die hohen Investitionskosten nicht einfach über Mieterhöhungen in die Amortisation gebracht werden können und so ein negativer Anreiz für Abwasserwärmenutzung gesetzt wird (EM#6). Da diese Technologie der Abwasserwärmenutzung jedoch insbesondere für öffentliche oder gewerbliche/industrielle Gebäude in Frage kommt, erscheint dieses Hemmnis weniger relevant für eine Verbreitung der Technologienutzung in Deutschland.

3. Lokalen institutionellen Strukturen kommen im Rahmen des Entwicklungspfades auch unterstützende und hemmende Wirkung zu. So konnten für die Beteiligung an der Antragstellung im Rahmen von EM#1 mit den StEB und der TH Köln weitere relevante Partner gewonnen werden, deren Expertise eine erfolgversprechende Antragstellung erlaubt. Weiterhin ermöglichte die Einbindung dieser Partner auch, das dort institutionell vorhandene Wissen beziehungsweise verfügbare Datengrundlagen einzubeziehen – dadurch wurde die Standortauswahl mit Blick auf verfügbare öffentliche Gebäudebestände, vereinzelt auch zu Sanierungsbedarf der Heizungsanlagen und zu Abwasserpotential wesentlich unterstützt. Weiterhin erschien eine potentielle Einflussnahmemöglichkeit der Stadt Köln auf die Realisierung der Demonstrationsanlagen in den Kölner Schulen als unterstützend, da man darüber die Schuldirektionen gut für Gespräche erreichen konnte. Als hemmend stellten sich erforderliche Abstimmungsprozesse zwischen Projektpartnern und weiteren Akteuren aufgrund neuer Prozesse dar: so entstanden durch Bezug der Abwärme von Dritten (hier StEB) zeitlicher Mehraufwand durch Abstimmungen zu Informationsweitergabe und Freigaben. Auch resultierten aus der Umsetzung des Nahwärmenetzes für die 3 Schulen in Köln-Nippes der Bedarf, Nahwärmeleitungen durch einen Park zu verlegen, was letztlich Mehraufwand durch Einhaltung

von Auflagen des Grünflächenamts zur Folge hatte, damit Bäume und Sträucher nicht geschädigt werden.

4. Mit Blick auf *sozio-kulturelle* Faktoren treten hemmende und unterstützende Wirkungen auf. Einerseits beeinflussen lokale Bedenken wegen Platzbedarf für und Sorge vor Geruchsbelästigung durch Nutzung der Anlagen an den drei Standorten die Akzeptanz der Einrichtung der Demonstrationsanlagen. Diese Bedenken konnten jedoch im Rahmen von Kommunikationsprozessen durch Gespräche beseitigt werden. Andererseits konnte mit Blick auf Wärmepreise, welche eine Amortisation hoher Investitionskosten ermöglichen und AbnehmerInnen-seitig noch akzeptabel sind, festgestellt werden, dass bei einem Segment der Kundinnen und Kunden von REAG eine höhere Zahlungsbereitschaft vorhanden ist. Hemmend wirken sich fehlende Kapazitäten (Finanzmittel für Personal und Zeit) im EM#6 (Transfer der Erfahrungen in andere Städte) aus, da der Personalaufwand für den Transfer der Erfahrungen aus Köln in andere Städte die verfügbaren Kapazitäten übersteigt.

5. Als letzte Kategorie von Einflussfaktoren entfalten *Meta-Faktoren* unterstützende Wirkung im Entwicklungspfade. So ist im Kölner Abwassernetz grundsätzliches Potential vorhanden, die Abwasserwärme zu nutzen. Und ein ganzjährig ausgeglichener Niedertemperatur-Wärmebedarf in Schulen entspricht Teilen der Bedingungen, die für einen Einsatz der Technologie zur Abwasserwärmenutzung gegeben sein müssen, und unterstützt damit die Umsetzung der Demonstrationsanlagen.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

In diesem Abschnitt fokussieren wir auf die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung im CELSIUS-Projektkontext bestimmt haben. Dies ermöglicht es herauszustellen, wie Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind, um die Kopplung voranzutreiben. Es zeigt außerdem bestehende Herausforderungen auf. Wir analysieren insbesondere die transformativen und Orchestrierungs-Handlungen, die innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Aufgrund der Datenlage können einige der Akteure und Handlungen nur implizit benannt werden.
Während Tabelle 4 eine Übersicht über die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen der Akteure innerhalb der Entwicklungsmomente und in Bezug auf die Einflussfaktoren bietet, sind in der unten stehenden Tabelle 5 die an dem Entwicklungspfad beteiligten Akteure und deren Rollen aufgeführt. Die zentralen Akteure waren die REAG und die Stadt Köln, die im Rahmen der gemeinsam gestarteten Initiative SmartCity Cologne sowohl erste Kooperationserfahrungen sammeln konnten als auch den Boden bereiteten für die Auseinandersetzung mit dem Thema nachhaltige Wärmeversorgung durch die Nutzung von Abwärme. Weiterhin waren die REAG und die Stadt Köln wesentliche Triebkräfte für die Auswahl der Standorte und Technologien sowie für die Einbeziehung der weiteren Partner StEB und TH Köln. Während die REAG mit der Beteiligung am Projekt das Ziel verfolgte, neue Technologien zu erproben und damit ihre Angebotspalette für nachhaltige Energielösungen zu

erweitern, war es für die Stadt Köln ein Ziel, sich weiter als Vorreiterstadt im Bereich nachhaltige Energielösungen zu positionieren. Beide Akteure hatten das Ziel, über die Projektbeteiligung und -umsetzung auch den Transfer der Erfahrungen aus den Handlungen, die im Rahmen der SmartCity Cologne Initiative laufen, sichtbarer zu machen und zu integrieren. REAG und die Stadt Köln waren darüber hinaus auch die zentralen organisatorischen Akteure, da sie sowohl die Konsortialbildung und Projektkonzeption für Köln unternahmen als auch die Standortauswahl maßgeblich vorangetrieben haben. Die StEB spielte insbesondere durch die Abwasserpotentialkarte, aber auch durch die Prozesse der Abstimmung mit der REAG eine wichtige Rolle in der Umsetzung der Technologienutzungen an den drei Standorten.

Tabelle 5: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad der Abwasserwärmenutzung in Köln

Akteur	Entscheidungs-ebene	Gesellschaftliche Sphäre	Handlungen
Stadt Köln – Umwelt- und Verbraucherschutzamt / Klimaschutz	Lokal	Öffentliche Hand	Initiieren und Managen des Projektes beziehungsweise Projektkonsortium für CELSIUS in Köln
Stadt Köln – Büro für Internationale Angelegenheiten der Stadt Köln	Lokal	Öffentliche Hand	Unterstützung der Projektanbahnung durch Konsortialpartner für REAG
Stadt Köln – Städtische Gebäudewirtschaft Köln	Lokal	Öffentliche Hand	Unterstützung des Projektes durch Übersicht zu verfügbaren öffentlichen Gebäuden und heizungsalter
Stadtentwässerungsbetriebe Köln (StEB)	lokal	Kommunalunternehmen, zu 100% im Besitz der Stadt Köln	Begleitung des Projektes durch Abwasserpotentialkarte und Vertrag mit REAG zu Abwärmenutzung
REAG	lokal	Markt	Initiieren und Managen des Projektes Betrieb der Demonstrationsanlagen Angebot der Abwasserwärmenutzung für Kundinnen und Kunden
TH Köln	Lokal	Forschung und Wissenschaft	Begleitung des Projektes durch technische Expertise und Forschungen
Schulen in Köln-Mühlheim, -Wahn und -Nippes	lokal	Gemeinschaft (‚community‘)/Bildung	Nutzende der Demonstrationsanlagen zur Wärmeversorgung

Akteur	Entscheidungs-ebene	Gesellschaftliche Sphäre	Handlungen
Grünflächenamt	lokal	Öffentliche Hand	Anforderungen an Verlegung des Nahwärmenetzes durch einen Park in Köln-Nippes

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen der vorgenannten Akteure zeigen sich insbesondere in den drei Kategorien *Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung, der Anbindung der Innovation an den Kontext sowie in der Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation*. Durch sie haben die Akteure in Köln – allen voran die REAG und die Stadt Köln – die Abwasserwärmenutzung an den Demonstrationsanlagen sowohl initiiert, entwickelt und umgesetzt als auch eine potentielle weitere Verbreitung der Technologienutzung in den Blick genommen.

Durch Handlungen*, welche Innovation und Nischenbildung ermöglichen*, haben insbesondere die REAG (teilweise unterstützt von der StEB) die Umsetzung der Technologien und damit die Erprobung der Innovation für eine Nischenbildung ermöglicht. So konnte im Zusammenschluss der wichtigen Partner REAG, Stadt Köln, StEB und TH Köln und ihrer Kapazitäten eine finanzielle Förderung für die Umsetzung der Demonstrationsanlagen durch die EU eingeworben werden (EM#1). Die Förderbedingungen der finanziellen Mittel von der EU wiederum setzten Anreize für eine schnelle Realisierung der Anlagen und ermöglichten somit längere Erprobungszeiten und größere Lerneffekte aus dem Betrieb der Demonstrationsanlagen (EM#4).

Eine Machbarkeitsstudie der Firma ECO.S zur Technik/Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Technologien an den Demonstrationsanlagen unterstützt die Feinplanungen vor Ort für konkrete technische Ausgestaltung der Demonstrationsanlagen. Mit Blick auf die Direktverdampferanlage in Köln-Nippes nimmt die REAG mögliche technische Lösungen in den Blick, um die Innovation Direktverdampferanlage in einen kontinuierlichen Betrieb zu bringen und damit auch deren technische Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit längerfristig beurteilen zu können. Dazu überlegt die REAG gegenwärtig, ob für eine kontinuierliche Funktionsfähigkeit der Direktverdampferanlagen in Köln-Nippes langfristig nicht doch die Bypass-Technologie (siehe EM#2) installiert werden muss, wenngleich diese hohe Investitionskosten mit sich bringt.

Im Rahmen der *Anbindung der Innovation an den Kontext* haben die REAG, die Stadt Köln und die StEB ermöglichte das Matching der öffentlichen Gebäudebestände in Köln mit der Abwasserpotentialkarte und dann mit verfügbaren Daten zu Sanierungszyklen, die Standorte für die Demonstrationsanlagen bestmöglich zu lokalisieren und damit die Erprobung der Innovation im Rahmen der kontextuellen Bedingungen vor Ort zu ermöglichen. Begleitet von den Ingenieuren der REAG sowie der StEB erlaubte es die Feinplanung vor Ort unter Einbezug der Hausmeister der beteiligten Schulen, die jeweils bestgeeignetste Technologie auszuwählen und dennoch verschiedene technologische Lösung ausprobieren zu können. Dabei wurde die Herausforderung zu hoher Kosten und zu geringen Platzes für die Bypass-Anlage (siehe EM#2) dadurch überwunden, dass letztlich nur zwei verschiedene Technologien zur Erprobung an den drei Standorten umgesetzt wurden. Letztlich trugen auch die unter 3.2.2 Orchestrierungs-

Handlungen genannten Gespräche mit den Schuldirektionen sowie die sektorübergreifenden Abstimmungsprozesse zwischen REAG und StEB dazu bei, dass die Demonstrationsanlagen zwar mit zeitlicher Verzögerung, aber ohne institutionelle Störungen umgesetzt werden konnten. Weiterhin wirkte die REAG der Hemmnis hoher Investitionskosten für die Nutzung der Technologie und benötigter höherer Wärmepreise dadurch entgegen, dass sie einerseits die Produktpalette für nachhaltige Energielösungen durch Abwasserwärmenutzung erweitert (von effizienten Brennwertthermen über BHKH, Wärmepumpe bis zur Abwasserwärmepumpe, Solarthermie, Holzpelletkessel) und damit den Kundinnen und Kunden eine größere Auswahlmöglichkeit bereitstellt. Damit kommen auch die Vorteile aus der Anerkennung verschiedener nachhaltiger Energielösungen durch das EEWärmeG für die Kundinnen und Kunden der REAG zum Tragen. Andererseits bieten die REAG vornehmlich Contracting-Lösungen an, sodass das Risiko und die Investitionen für die Technologie bei der REAG verbleiben und die Kundinnen und Kunden entsprechend nur (je nach Technologie leicht höhere) Preise für die Wärme- beziehungsweise Energieversorgungsdienstleistung zahlen. Bei der REAG wurde festgestellt, dass das Interesse an beziehungsweise die Nachfrage nach nachhaltigen Lösungen generell ansteigt und Teile der Kundinnen und Kunden auch bereit sind, dafür höhere Wärmepreise zu erlösen. Dadurch erscheinen auch die höheren Investitionskosten für diese Technologie refinanzierbar und damit deren Nutzung im jeweiligen Kontext skalierbar. Aus den Lernerfahrungen mit der Direktverdampfertechnologie heraus setzt die REAG für weitere Projektrealisierungen zur Abwasserwärmenutzung tendenziell auf Rinnenwärmetauscher, da dadurch das Abwasser im Kanal verbleibt und man trotz etwas geringerem Wirkungsgrad im Vergleich zum Direktverdampfer viele andere Probleme, und damit auch Kosten, umgangen werden können. Das bedeutet, dass sich Rinnenwärmetauscher eher beziehungsweise mit potentiell weniger technischen Komplikationen als technologische Innovation zur Abwasserwärmenutzung anbieten und dadurch diese Technologie einfacher an den jeweiligen Kontext angebunden beziehungsweise skaliert werden kann.
Handlungen im Rahmen *Stärkung der Sichtbarmachung der Innovation* umfassen einerseits die Tätigkeiten der REAG und der TH Köln im Rahmen der Masterarbeit zur Ermittlung des möglichen Potentials an Gebäuden, die für eine Abwasserwärmenutzung in Köln in Frage kommen könnten. Auch wenn das Potential im einstelligen Prozentbereich gering ist, so stellt die Objektanzahl jedoch ein an vielen Objektorten in Köln verfügbares Potential noch umsetzbarer Abwasserwärmenutzungen in Aussicht. Andererseits zeigen die finanziellen und personellen Mittel, die für den Transfer der in Köln gemachten Erfahrungen in andere Städte im CELSIUS-Projektkontext (die FollowerCities) benötigt sind, dass die technische Innovation in Köln dann stärker sichtbar gemacht werden kann, wenn entsprechende Mittel für den Transfer bereitstehen beziehungsweise ausreichend von Beginn an eingeplant werden.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen verschiedener Akteure zeigen sich im Entwicklungspfad in Köln insbesondere in der Kategorie *skalen- und ressortübergreifende Mediation* sowie geringfügig auch in den Kategorien *Setzen von Rahmenbedingungen* und *strategische Richtungssetzung.* Die Handlungen helfen, Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von

unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren. Durch diese Handlungen wurden die Antragsstellung und die erfolgreiche Umsetzung der Technologie an den Demonstrationsstandorten wesentlich gefördert und konnten relevante Akteure miteinander in Verbindung gebracht werden.
Durch sektorübergreifende Abstimmungsprozesse zwischen REAG und StEB sowie durch Gespräche mit den Schuldirektionen bezüglich Raumbedarf und Geruchsbelästigung haben REAG und StEB zur *skalen- und ressortübergreifende Mediation* beigetragen. REAG und die StEB haben nicht nur neue Abstimmungsprozesse und Vertragsvereinbarung für die Lieferung von Wärme aus Abwasser an die REAG vorgenommen, sondern insbesondere durch Gespräche vor Ort mit den Schuldirektionen dafür Sorge tragen können, dass Bedenken wegen Platzbedarf und Geruchsbelästigung ausgeräumt und so die Demonstrationsanlagen umgesetzt werden konnten. Im Rahmen der Abstimmungsprozesse mit den StEB wurde auch deutlich, dass es die Abwärmenutzung aus Abwasser nur einen minimalen Wärmeentzug im Kanal bedeutet (dieser liegt im Nachkommastellenbereich), sodass die Abwärmenutzung durch REAG keine negativen Auswirkungen auf die Abwasserbehandlung in der Kläranlage für die StEB hat. Das zeigte die technische Passung der Abwasserwärmenutzung mit Anforderungen der StEB an Kanalnetzbetrieb und unterstützt so die Umsetzung der Demonstrationsanlagen.
Insbesondere mit Blick auf die Fragen der Wirtschaftlichkeit der Anlage wird deutlich, dass vergleichsweise hohe Investitionskosten und für eine Amortisation erforderliche Wärmepreise eine große Herausforderungen für einen weiter verbreiteten Einsatz der Technologie seitens der REAG darstellen. Im Rahmen von Orchestrierungsaktiväten *Setzen von Rahmenbedingungen* fehlt es an entsperchender staatlicher (finanzieller) Unterstützung für die Technologieskalierung und –transfer.
Strategische Richtungssetzung fand ihren Ausdruck im Entwicklungspfad insbesondere über die gemeinsame Initiative der REAG mit der Stadt Köln zu SmartCity Cologne, wodurch schon Kontakte und Vorkenntnisse bestanden, auf denen die Akteure für die Projektkonzeption und Umsetzung aufbauen konnten.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastrukturkopplung durch ihren Entwicklungspfad zu einer Nachhaltigkeitstransformation beiträgt. Durch die funktionalen und geographischen Systemgrenzen ist die Frage nach einer Nachhaltigkeitstransformation auf die Abwasseraufbereitung und Gebäudewärmeversorgung in der Stadt Köln begrenzt. Hierzu beschreiben wir einerseits den Beitrag der Abwasserwärmenutzungsanlagen zur Nachhaltigkeit und andererseits das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Anlagen.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Abwasserwärmeanlage wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.

Das explizite Ziel der Abwasserwärmenutzung an den drei Demonstrationsanlagen war es, das Potential der lokal vorhandenen und nachhaltigen Gebäudewärmeversorgung aus Abwasserwärme effizient zu nutzen und zur Erbringung als Dienstleistung an den Demonstrationsstandorten verschiedene Technologien zu erproben. Dieses Ziel wurde mit Ausnahme der Erprobung einer von drei anvisierten technologischen Optionen erreicht, ohne dass die öffentliche Aufgabenstellung der StEB zur Abwasserentsorgung (das heißt die Reinigung von Abwasser) beeinträchtigt wird. Die *Leistungsfähigkeit der Kopplung* wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Das an vielen Stellen im Kölner Kanalnetz vorhandene Potential, Abwasserwärme nutzen zu können, und eine entsprechend günstige Lage der Kanalabschnitte zu öffentlichen Gebäuden mit ganzjährig kontinuierlichem Niedertemperatur-Wärmebedarf (sechs Kölner Schulen).
- Ein guter Stand der Technik und gute Verfügbarkeit der Abwasserwärmenutzung über die Technologie der Rinnenwärmetauscher und Wärmepumpen. Die bauliche Anpassung waren vergleichsweise gering und konnten an bestehende Infrastrukturen angebunden werden.
- Sanierungszyklen der Heizungsanlagen beeinflussen die Umsetzbarkeit der Abwasserwärmenutzung durch Einbau von Wärmepumpen (oder Direktverdampfern), da nur dann neue Anlagen eingebaut beziehungsweise bestehende Anlagen modernisiert werden, wenn entsprechender Bedarf vorliegt.
- Die organisatorischen Anpassungen erforderten bis dahin nicht benötigte, neue Abstimmungen und Prozesse zwischen den Stadtentwässerungsbetrieben als Wärmegeber und REAG als Wärmenehmer für ihre eigenen Kundinnen und Kunden. Diese Anpassungen konnten auf bestehenden Kontakten aufsetzen und verliefen in guter Zusammenarbeit.
- Die Technologie der Direktverdampferanlage ist am Standort Köln-Nippes aufgrund der Größe der Anlage noch nicht störungsfrei im Einsatz und erfordert(e) zusätzliche technische Lösungen durch Siebe, Zerkleinerer und ggf. eine Hebeanlage. Daher erscheint der Einsatz von Rinnenwärmetauschern und Wärmepumpen als technologische Lösung zur Abwasserwärmenutzung trotz leicht geringeren Wirkungsgrades insgesamt vorteilhafter.
- Weiteres Potential zur Umsetzung von Abwasserwärmenutzung besteht an vielen Stellen für weitere öffentliche Gebäude in Köln. Die tatsächliche Nutzung dieses Potentials hängt jedoch von verschiedenen Einflussfaktoren ab.

- Mit Blick auf die *soziale und ökonomische Verträglichkeit* der Kopplung ist insbesondere das Problem mit der Wirtschaftlichkeit der Anlage zu nennen:Hohe Investitionskosten für die Heizungsanlage und die Rohrleitungen vom Kanal zur Heizungsanlage erfordern höhere Wärmepreise für die Amortisation als das bei anderen, häufig weniger nachhaltigen, Wärmequellen der Fall ist. Zwar können je nach technischer Auslegung (zum Beispiel Rinnenwärmetauscher vs. Direktverdampferanlage) die Investitionskosten

gesenkt werden, leicht höhere Wärmepreise werden aber dennoch für eine Amortisation benötigt.

- Die Amortisation der Investitionskosten konnte im Falle der Demonstrationsanlagen durch die EU-Förderung etwas vereinfacht werden – für weitere Projektumsetzungen ohne solche Anreize wird die Frage der erlösbaren und akzeptablen Wärmepreisen stärker virulent.
- Allerdings wurde seitens der REAG festgestellt, dass ein gewisses Kundinnen und Kundensegment durchaus bereit ist, leicht höhere Kosten für diese erneuerbare Wärmeversorgung zu zahlen.
- Die Akzeptanz höherer Preise könnte nach EEWärmeG weiter zunehmen, da bei öffentlichen wie privaten Neubauten ein Anteil der Wärmeversorgung aus erneuerbaren beziehungsweise alternativen Energien kommen muss, worunter das EEWärmeG explizit auch Abwasserwärme fasst.
- Die Preisentwicklung anderer Energiequellen beeinflusst die relative Höhe der Wärmepreise für Abwasserwärme im Vergleich zu anderen Quellen. Sinkende Preise für fossile Energien könnten die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung weiter beeinträchtigen.
- Der Preisvergleich zwischen der Abwasserwärme und anderen Wärmequellen (Fernwärme, Öl und Gas) bedarf weiterer Aufklärungsarbeit durch die REAG, um nutzerseitiges Wissen über die Vorteile zu schaffen.

Die Anlage hat positive Beiträge auf die Ressourcennutzung und die Umwelt. Die Abwasserwärmenutzung trägt zur effizienteren Nutzung von Energieträgern für die Wärmeversorgung bei, da die im Abwasser enthaltene Wärme – und damit die für die Erwärmung der Abwässer aus Haushalten und Gewerbe eingesetzten Energieträger – als Abwärme effizienter genutzt wird und der Einsatz von (fossilen) Energieträgern für die Gebäudewärme verringert werden kann. Selbst wenn für den Betrieb der Wärmepumpen, welche die im Abwasser enthaltene Wärme erhöht, um sie so über ein Kältemittel für Heiz- beziehungsweise Kühlkreisläufe nutzbar zu machen, oftmals noch fossile Energieträger wie Kohle, Gas oder Öl zum Einsatz kommen, so ist die Menge an Nutzenergie (Raumwärme oder Warmwasser), die durch die Abwasserwärmenutzung erzeugt wird, deutlich höher als der Verbrauch an fossilen Energieträgern zur Erzeugung des Stroms für die Elektrowärmepumpen – gegenüber einer Ölheizung sind damit CO_2-Einsparungen von etwa 40% (oder mehr) möglich (Müller u. a. 2005). Die Nutzung der Abwärme aus Abwasser für die Gebäudewärmeversorgung in den Demonstrationsanlagen verringert die CO_2-Emissionen im Vergleich zu bisher genutzten Gasheizungen um 35 bis 45% (Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH ohne Jahr). Nach Angaben von RheinEnergie AG konnten Einsparungen von 500 t CO_2 pro Jahr erreicht werden (RheinEnergie AG 2016b). Der Beitrag zu Ressourcenschonung und -effizienz wurde insbesondere durch die gute Verfügbarkeit der entsprechenden Technologien geprägt.

- Die Versorgung mit Wärme aus dem Kölner Kanalnetz ist an den Demonstrationsstandorten überwiegend sicher und flexibel gewährleistet (Versorgungssicherheit im Kontext wetterbedingter Störungen). Einzig für den Standort

Köln-Nippes musste aufgrund der technischen Probleme mit der Direktverdampferanlage die Wärmeversorgung der angeschlossenen Schulen über die aus Versorgungssicherheitsgründen groß ausgelegten Spitzenkessel sichergestellt werden. Die lokale Nutzung von Abwasserwärme ermöglicht auch ein größeres Angebotsspektrum (der REAG) an Wärmeversorgung und kann damit lokale Unabhängigkeit und Versorgungssicherheit in der Wärmeversorgung erhöhen. Es bestehen keine Informationen Bezüglich der Resilienz der Anlage im Kontext wetterbedingter Störungen. Der Beitrag der Demonstrationsanlagen zur Versorgungssicherheit wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:Lokale Verfügbarkeit von Abwasserwärme

- Die Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme der Kopplung ist technisch eher unkompliziert, aber finanziell aufwendig.

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das transformative Potential und die transformative Wirkung der Abwasserwärmenutzung in den Demonstrationsanlagen in Köln sind daran festzumachen, inwieweit durch die Anlage das dominante Regime der Abwasseraufbereitung und Wärmeerzeugung in der Stadt Köln, das heißt auf lokaler Ebene, in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird beziehungsweise werden kann. Die Demonstrationsanlagen verdeutlichen das Potential, durch die Erzeugung von Wärme aus Abwasserwärme zu einer veränderten Nutzung von Abwasser (und reduzierten Nutzung fossiler Energieträger für die Wärmeversorgung) beizutragen, wodurch Abwasser als neuer Energieträger für Wärme – anstatt insbesondere Gas und Öl – positioniert wird. Die Kopplung kann so zu einer nachhaltige(re)n Energieversorgung und -nutzung in Waiblingen beitragen.
Die drei Demonstrationsanlagen entfalten sowohl in ihrer technischen als auch in ihrer organisatorischen Umsetzung transformative Wirkung, da einerseits sechs Kölner Schulen seit der Inbetriebnahme der Heizungsanlagen (mit Ausnahme der Direktverdampferanlage in Köln-Nippes) über Abwasserwärme mit Gebäudewärme versorgt werden. Andererseits kam es erst durch die Abwasserwärmenutzung dazu, dass REAG und StEB für die Abgabe der Abwasserwärme an die REAG neue Abstimmungsprozesse durchlaufen und auch neue Vereinbarungen schließen musste.
Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die Kopplung im Entwicklungspfad in Köln über die drei Demonstrationsanlagen hinaus bisher keine transformative Wirkung entfalten konnte, da mit Stand Februar 2017 weder weitere Anlagen umgesetzt wurden noch konkrete Interessensbekundungen vorlagen. Grundsätzlich ist ein transformatives Potential dieser Form der Abwasserwärmenutzung jedoch gegeben und auch dokumentiert – einerseits in der Abwasserpotentialkarte der StEB, die frei zugänglich ist und an einer Abwasserwärmenutzung Interessierten erste Einschätzungen ermöglicht, wo eine solche Umsetzung grundsätzlich in Frage käme. Andererseits verdeutlichen auch die Ergebnisse der Master-Arbeit der TH Köln zur Potentialanalyse, dass diese Form der Abwasserwärmenutzung an vielen Stellen im öffentlichen Gebäudebestand in Köln genutzt werden könnte und dadurch sogar ein Anteil von ca. 3% des gesamten Kölner Niedertemperatur-Wärmebedarfs gedeckt werden könnte. Allerdings wurden

im Rahmen der Untersuchungen mehrere Herausforderungen beziehungsweise Hemmnisse für eine tatsächliche Realisierung dieses Potentials festgestellt.
In Deutschland sind derzeit zwar ca. 80-90 Anlagen in Bau beziehungsweise in Betrieb, allerdings fristet diese Technik der Abwasserwärmenutzung nachwievor ein Nischendasein (mündlich: RheinEnergie AG 2017). Das liegt weniger an den o.g. Bedingungen, die zum Einsatz der Technologie erfüllt sein müssen, sondern vielmehr an fehlendem Wissen, fehlender Bekanntheit, unzureichenden Informationen vor Ort, komplexen Realisierungsanforderungen, hohen Investitionskosten und fehlender Koordination möglicher AbnehmerInnen (RheinEnergie AG 2017 mündlich; RheinEnergie AG 2016b; ifeu und Öko-Institut 2010). Einer der großen Hinderungsgründe, warum Abwärmequellen nicht noch mehr genutzt werden, wird in fehlendem Austausch zwischen verschiedenen Akteuren gesehen – wenn zum Beispiel die Abwärme von Rechenzentren genutzt werden soll, dann braucht es dort umsichtige Verantwortliche für die Energieversorgung, um überhaupt zu prüfen, ob und wie die Abwärme intern oder extern genutzt werden könnte (RheinEnergie AG 2017 mündlich). Doch selbst wenn solche Umsicht vorhanden ist, müssen in der Regel viele weitere Hindernisse überwunden werden: so müssen die Energiemengen der Abwärme zum Wärmebedarf sowie das Temperaturniveau und die Verfügbarkeit passen, Abwärmequelle und Verbraucher sollten nicht zu weit auseinanderliegen und mit Blick auf Versorger und Abnehmerin müssen für beide Seiten akzeptable Vertragsregelungen gefunden werden (RheinEnergie AG 2017 mündlich).
Weiterhin stellen die vergleichsweise hohen Investitionskosten (insbesondere für den Einbau und die Einrichtung der Wärmetauscher- beziehungsweise Heizungsanlagen sowie für das Verlegen von Leitungen vom Kanal zur Heizungsanlage) ein wichtiges Hemmnis für die Abwasserwärmenutzung dar, da die Wirtschaftlichkeit der Anlagen dann wesentlich von erlösbaren Wärmepreisen abhängen, was wiederum kritische Aspekte der Verbraucherakzeptanz oder anderer Optionen nach sich zieht, die Wirtschaftlichkeit herzustellen oder zu unterstützen (RheinEnergie AG 2017 mündlich; RheinEnergie AG 2016b; ifeu und Öko-Institut 2010; Knies 2015).
Diese Herausforderungen beziehungsweise Hemmnisse deuten daraufhin, dass zwar ein deutliches transformatives Potential dieser Nischeninnovation besteht, dass aber eine tatsächliche transformative Wirkung von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Während die o.g. naturräumlichen, infrastrukturseitigen und technologischen Bedingungen (zum Beispiel Entfernung zum Kanal, Niedertemperatur-Wärmebedarf, etc.) (siehe DWA 2009) vielerorts in Großstädten in Mitteleuropa gegeben beziehungsweise erreichbar sein sollten, hängt die tatsächliche Realisierung einer Abwasserwärmenutzungsanlage stark vom jeweiligen Umsetzungskontext ab. Das heißt, die Faktoren, die im jeweiligen Kontext Einfluss auf die Realisierung der Technologie in einer Stadt genommen haben, sind auf mögliche Passung für den Anwendungskontext in einer anderen Stadt zu untersuchen.

Dennoch lassen sich als mögliche, eher generelle die folgenden Erfolgsfaktoren für eine weiter verbreitete Anwendung dieser Technologie anführen:

- Schaffen einer möglichst guten Datenlage zu verfügbaren Abwasserwärmepotentialen (hier die Abwasser-Energie-Potentialkarte der StEB), verfügbaren und für den

Technikeinsatz geeigneten Objekten sowie zu Sanierungszyklen von Heizungsanlagen und Kanalabschnitten (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013; Stodtmeister 2015).
- Zusammenarbeit zwischen und offene Gespräche mit verschiedenen, für die Umsetzung der Technologie relevanten Akteuren (Energieversorger, Kommune/Stadt, Kanalnetzbetreiber, Eigentümer und Planer von Liegenschaften, Nutzende).
- Anpassung der technologischen Lösung im Rahmen der Gespräche und des Austauschs (zum Beispiel verstärkte Nutzung von Rinnenwärmetauschern in der Abwasserwärmenutzung, da dadurch das Abwasser im Kanal verbleibt und man trotz etwas geringerem Wirkungsgrad viele der o.g. genannten Problem umgeht (RheinEnergie AG 2017 mündlich))
- frühzeitige Ankündigungen von Kanalsanierungen, in deren Rahmen dann Rinnenwärmetauscher eingebaut werden könnten (Stodtmeister 2015).
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes mit Blick auf erzielbare Wärmepreise.
- politische Rahmenbedingungen, die den Einsatz der Technologie fördern (zum Beispiel politischer Wille für eine großflächigere Förderung der Technologie zwecks Subventionierung/Reduzierung der hohen Anfangsinvestitionskosten).

5 Fazit

Die Fallstudie zu den Demonstrationsanlagen zur Abwasserwärmenutzung in Köln bietet wertvolle Einsichten in den Entwicklungspfad der Umsetzung einer Infrastrukturkopplung im Bereich Abwärmenutzung aus Abwasser – und ergänzt damit die Befunde aus der Fallstudie zur Abwasserwärmenutzungsanlage in Waiblingen (Hölscher et al., Kapitel 2).
Neben der Projekt-Initialisierung und Umsetzung der Demonstrationsanlagen benennen die Entwicklungsmomente auch Faktoren, die sich auf eine Skalierung der Nutzung dieser Form der Abwärmenutzung aufwirken. Hierdurch können Aussagen sowohl zu verschiedenen Einflussfaktoren und Prozessen als auch zum Beitrag der Anlagen zu einer Nachhaltigkeitstransformation abgeleitet werden.
Die Demonstrationsanlagen wurden im Rahmen einer Projektantragstellung für ein europäisches Forschungsprojekt in den Jahren 2012 und 2013 konzipiert, geplant und in Betrieb genommen. Qua ihres Charakters als Demonstrationsanlagen sollten darüber einerseits verschiedene Technologien zur Abwasserwärmenutzung erprobt und andererseits Aussagen über die Wirtschaftlichkeit und Eignung der Technologie als solche für eine Aufnahme in die Angebotspalette des EVU REAG abgeleitet werden. Damit wurden die Anlagen als technologische Nische entwickelt, um das in Köln weiterhin überwiegend ungenutzte Potential von Abwasserwärme für Wärmegewinnung nutzbar zu machen. Die Anlagen tragen insbesondere durch erhöhte Ressourceneffizienz, verminderte Nutzung von fossilen Energieträgern und reduzierte CO_2-Emissionen zur Nachhaltigkeit bei. Durch die veränderte Nutzung von Abwasserwärme und Wärmeenergieträgern kann die Technologie einen Beitrag zu einer lokalen Transformation hinsichtlich nachhaltiger Energieversorgung und -nutzung leisten. Allerdings sind die Demonstrationsanlagen vor allem als eine technische Innovation zu betrachten, weniger als organisatorische Innovation: sie wurden durch technische Anpassungen

in einzelnen Kanalabschnitten sowie insbesondere durch die Installation von Heizungsanlagen in den ausgewählten Schulen umgesetzt. Darüber hinaus kam es durch die neuen Abstimmungsprozesse und auch vertraglichen Vereinbarungen zwischen REAG und StEB zu einer organisatorischen Innovation.
Die Demonstrationsanlagen stellen in ihrem Charakter die Erprobung einer Veränderung des bestehenden Regimes zur Stadtentwässerung und Wärmeversorgung in Köln dar: in Köln soll die Nutzung fossiler Energieträger in der Wärmeversorgung grundsätzlich reduziert werden und alternative, nachhaltigere Lösungen gesucht werden. Die Nutzung von Abwärme aus Abwasser ist jedoch nur eine mögliche Option, die Potential zu weit verbreitetem Einsatz in Köln (und in anderen Städten) zeigt, deren Realisierung jedoch von einer Vielzahl relevanter Faktoren abhängt und die auch bei verbreiteter Umsetzung nur einen geringen Anteil des Gesamtwärmebedarf an Gebäuden decken kann. Da, wo sie diesen Bedarf decken kann, trägt sie jedoch zu größerer Energieautarkie und Vielfalt an nachhaltigen Wärmeversorgungsoptionen bei.
Der Entwicklungspfad wurde von verschiedenen Einflussfaktoren und dem Umgang verschiedener Akteure mit diesen Faktoren geprägt. Zu Beginn des Entwicklungspfades standen das Zusammenwirken von technischen Entwicklungen, Anreizen und dem lokalen institutionellen Kontext im Vordergrund, welche die Beteiligung am Projektantrag zielführend und kurzfristig möglich gemacht sowie die Auswahl von Demonstrationsstandorten und Technologien zur Abwasserwärmenutzung und deren Installation überwiegend erleichtert, mit Blick auf die neuen Abstimmungsprozesse zwischen REAG und StEB jedoch auch verzögert haben. Dabei spielten Wirtschaftlichkeitsaspekte der zu erprobenden Anlagen eine Rolle im Sinne hoher Kosten als Hemmnis. Des Weiteren waren auch sozio-kulturelle Faktoren bedeutsam, insbesondere mit Blick auf Bedenken der Schuldirektionen bezüglich Raumbedarf und Geruchsbelästigung der Demonstrationsanalagen. Im Rahmen der Ermittlung des Potential zum Einsatz der Technologie und der Umsetzung des Transfers in andere Städte standen technische Entwicklungen (Kenntnisse zum möglichen Potential der Abwasserwärmenutzung in Köln aus einer Master-Arbeit der TH Köln) und lokale institutionelle Strukturen (fehlende finanzielle und personelle Ressourcen bei der REAG für die Aufrechterhaltung der TransferHandlungen) im Vordergrund.
Der heutige Stand der Anlagen und Handlungen weist auf verschiedene Herausforderungen für Akteure durch Einflussfaktoren hin, welche einer Skalierung der Nutzung der Technologie hemmend im Wege stehen, aber auch überwindbar erscheinen – wenn die Rahmenbedingungen entsprechend ausgestaltet sind. Das politische Interesse der Stadt Köln an dieser Form der Abwärmenutzung (und anderen Abwärmenutzungen) im Kontext der SmartCity Cologne Initiative und des integrierten Klimaschutzkonzeptes sowie das wirtschaftlich-politische Interesse der REAG an der weiteren Verbreiterung ihrer Angebotspalette durch Abwasserwärmenutzung wirken insgesamt als Schub für die Aufrechterhaltung von Handlungen und Projekten zur Abwasserwärmenutzung in Köln. Allerdings scheinen Fragen der Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung, sowohl mit Blick auf hohe Investitionskosten als auch bezüglich für eine Amortisation benötigter Wärmepreise, als wesentliche Barrieren für eine Skalierung auf. Fragen der Akzeptanz und der organisatorischen Zusammenarbeit werden anhand der Untersuchungsergebnisse durch Gespräche und Kooperationsvereinbarungen als

gut lösbar eingeschätzt und stellen daher per se kein Hemmnis für die Skalierung dar. Und auch die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzungsanlagen kann durch die Umsetzung von Rinnenwärmetauschern und Wärmepumpen anstelle kostenintensiverer anderer Lösungen (Direktverdampferanlagen) verbessert werden – jedoch bleibt das Problem bestehen, dass solche Wärmepreise gefunden werden müssen, die sowohl für das EVU wirtschaftlich tragfähig als auch für Kundinnen und Kunden bezahlbar und akzeptabel sind. Während hierzu in Köln auf der einen Seite höhere Zahlungsbereitschaft in gewissen, kleineren Kundinnen und Kunden-Segmenten konstatiert werden konnte, wird auf der anderen Seite auch deutlich, dass politische Unterstützung wünschenswert ist: beispielsweise ermöglicht die Anerkennung der Abwasserwärmenutzung als alternative Wärmeversorgung nach EEWärmeG, dass die Akzeptanz der Technologie und auch höherer Preise bei öffentlichen und privaten Bauherren steigen könnte, die einen gewissen Anteil der Wärmeversorgung bei Neubauten aus erneuerbaren Quellen nachweisen müssen. Wenn das mit einer finanziellen Förderung für EVU zur Senkung der Investitionskosten oder auch Kostenerleichterungen für Nutzende zur verstärkten Inanspruchnahme von Wärme aus Abwasser einhergeht, könnten weitere Abwasserwärmenutzungsprojekte unterstützt werden. Dazu müssten im Regime entsprechende Strukturen in Frage gestellt beziehungsweise geschaffen werden, wie beispielsweise politischer Wille zur Akzeptanz geringerer Erlöse aus der Wärmeversorgung durch kommunale EVU.
Der geographische Systemfokus dieser Analyse zeigt, dass die Technik zur Gewinnung von Wärme aus Abwasser im Rahmen von städtischen beziehungsweise kommunalen Nachhaltigkeitszielen zum Tragen kommen kann. Wird der Entwicklungspfad der Nischeninnovation in einem größeren geographischen Bezugsrahmen (zum Beispiel Deutschland) gesetzt oder die Systemgrenzen rein funktional gesetzt (das heißt in Hinblick auf das Wärmeversorgungs- und Abwasseraufbereitungssystem), ist „Wärmeerzeugung aus Abwasser“ nach wie vor eine Nische gegenüber den dominanten sozio-technischen Lösungen. Obwohl auch über die Demonstrationsanlagen hinaus eine stark ansteigende Zahl ähnlicher Projekte die Zuverlässigkeit dieser Technologie seit nahezu 30 Jahren belegen (Müller und Butz 2010), wurde die Technik bisher nicht flächendeckend umgesetzt.
Vor dem Hintergrund einer breiteren Nachhaltigkeitstransformation über den lokalen Kontext hinaus ist eine der zentralen Fragestellungen, wie auf größeren politischen Entscheidungsebenen weitere (lokale) Umsetzungen gefördert werden können. Die Aufnahme in Förderprogramme und der Erlass von Gesetzen zum Einsatz regenerativer Energien in der Wärmeversorgung tragen wesentlich dazu bei, dass ausgelöste Projekte zur Wärmegewinnung aus Abwasser vermehrt auch zur Umsetzung gebracht werden können (Müller und Butz 2010, RheinEnergie AG 2017 mündlich).

6 Quellenverzeichnis

Bartel, R. (2012): Heizkraftwerk Kläranlage Waiblingen: Abwasserwärmenutzung mit Tradition. In Klimaschutz & Abwasserbehandlung, 52–62. Deutsches Institut für Urbanistik. edoc.difu.de/edoc.php?id=WLEO4SIY.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013): Energie aus Abwasser. Ein Leitfaden für Kommunen. Bayerisches Landesamt für Umwelt.

BMWi (2017): Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das_EEWaermeG/das_eewaermeg.html. Aufgerufen am: 10.4.2017.

DWA (2009): Merkblatt DWA-M 114. Energie aus Abwasser - Wärme- und Lageenergie. Deutsche Vereinigung für Was-serwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Europäische Kommission (2014): Combined Efficient Large Scale Integrated Urban Systems. http://cordis.europa.eu/project/rcn/186979_de.html. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Expo Fortschrittsmotor Klimaschutz GmbH (o.J.): Celsius: Wärme aus Abwasser. http://www.klimaexpo.nrw/mitmachen/projekte-vorreiter/vorreitergefunden/celsius/. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Hölscher, K., Müller, M. und Wittmayer, J. (2018): Wärmeerzeugung aus Abwasser in der Kläranlage Waiblingen. In: Hölscher, K. und Wittmayer, J. (Hrsg.): Entwicklungspfade innovativer Infrastrukturkopplungen verstehen: neun Fallbeispiele. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

ifeu und GERTEC (2012): Stadt Köln - Integriertes Klimaschutzkonzept für den Teilbereich Energie. Endbericht. Köln: Stadt Köln, Umwelt- und Verbraucherschutzamt. http://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/pdf57/integriertes-klimaschutzkonzept-koeln_endbericht-energie-2012.pdf. Aufgerufen am: 10.4.2017.

ifeu und Öko-Institut (2010): Ausgewählte Klimaschutzpotenziale der Abwasserwirtschaft: Wärmepotenzial aus Abwasser und Potenzial der Faulgasnutzung. Darmstadt/Heidelberg/Berlin: im Auftrag von BDE. http://www.sekundaer-rohstoffe.com/abwasserstudie.pdf.

Knies, J. (2015): Wärme aus Abwasser - ein grenzüberschreitendes Thema. Gehalten auf der DWA Tagung: „GIS&GDI in der Wasserwirtschaft“, Workshop Nutzung von Abwasserwärme während der Promotiedagen Groningen, Groningen. http://www.denewa.eu/websites/implementatie/mediadepot/1639d9926bc7.pdf. Aufgerufen am: 10.4.2017

Landesregierung Nordrhein-Westfalen (o.J.): KlimaExpo.NRW. Über uns. http://www.klimaexpo.nrw/klimaexpo/ueber-uns/. Aufgerufen am: 10.4.2017.

McCormick, K., S. Anderberg, L. Coenen und L. Neij (2013): Advancing Sustainable Urban Transformation. Journal of Cleaner Production 50 (Juli): 1–11. doi:10.1016/j.jclepro.2013.01.003.

Müller, E.A. und J. Butz (2010): Abwasserwärmenutzung in Deutschland. Abwasserwärmenutzung in Deutschland, Nr. 5 (Mai): 457–62. doi:10.3242/kae2010.05.002.

Müller, E,A., F. Schmid, B. Kobel und W. Stodtmeister (2005): Heizen und Kühlen mit Abwasser - Rategeber für Bauherren und Kommunen. Osnabrück, Berlin, Zürich: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Bundesverband Wärmepumpe e.V., Institut Energie in Infrastrukturanlagen. http://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2009_DBU_Heizen%20und%20K%C3%BChlen%20mit%20Abwasser_Leitfaden%20D_neu.pdf.

Piller, S., F. Unger, D. Schinnerl und G. Bucar (2007): AbwasserWärmeNutzung - Leitfaden zur Projektentwicklung. Berlin und Graz: Berliner Energieagentur, Grazer Energieagentur. https://www.grazer-ea.at/cms/upload/wastewaterheat/gea_abwasserwaermenutzung_leitfaden_web_austria_2007.pdf.

RePro (2012): Heizwerk Abwasser-Abwärme (Broschüre). RePro - Ressourcen vom Land. www.reproketten.de/.../Broschuere_Abwasser-Abwaerme.pdf. Aufgerufen am: 10.4.2017.

RheinEnergie AG (2017 mündlich): TRAFIS-Interview zur Umsetzung des CELSIUS-Projektes in Köln.

RheinEnergie AG (2016a): Die Zukunft gestalten: SmartCity Cologne. http://www.smartcity-cologne.de/index.php/zukunft-gestalten.html. Aufgerufen am: 10.4.2017.

RheinEnergie AG (2016b): Innovativ und naheliegend: ‚Celsius‘ – Wärme aus Abwasser. RheinEnergie AG. http://www.smartcity-cologne.de/index.php/celsius.html. Aufgerufen am: 10.4.2017.

RheinEnergie AG (2016c): Projekt CELSIUS: Diese Kölner Schulen heizen mit Wärme aus Abwasser. http://blog.rheinenergie.com/index.php/detailseite-totallokal/projekt-celsius-koelner-schulen-heizen-mit-waerme-aus-abwasser.html. Aufgerufen am: 10.4.2017.

RheinEnergie AG (2015): Daten und Fakten 2015. https://www.rheinenergie.com/media/portale/downloads_4/rheinenergie_1/flyer/Daten_und_Fakten_2015.pdf. Aufgerufen am: 10.4.2017.

RheinEnergie AG (2013). „Wärme aus dem Abwasserkanal – RheinEnergie nimmt Pilotanlage in Betrieb“. RheinEnergie AG. http://www.rheinenergie.com/de/unternehmensportal/presse/aktuelle_meldungen/meldung_26049.php. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2016a): Der Weg des Abwassers. Stadtentwässerungsbetriebe Köln. https://www.steb-koeln.de/abwasser-und-entwaesserung/der-weg-des-abwassers/der-weg-des-abwassers.jsp. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2016b): Über uns. https://www.steb-koeln.de/unternehmen/ueber-uns/ueber-uns.jsp#6455. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Stadtentwässerungsbetriebe Köln (2015): Potenzialkarte für die Nutzung von Abwasserwärme - Erläuterungen und Lesehilfe. Stadtentwässerungsbetriebe Köln. https://www.steb-koeln.de/Redaktionell/ABLAGE/Downloads/Brosch%C3%BCren-Ver%C3%B6ffentlichungen/Abwasser/Abwasserw%C3%A4rmepotentiale/Erl%C3%A4uterungen-zur-Karte-151209.pdf. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Stadt Köln (2013a): EU-Projekt ‚CELSIUS' startet noch im Sommer. http://www.stadt-koeln.de/politik-und-verwaltung/presse/eu-projekt-celsius-startet-noch-im-sommer#. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Stadt Köln (2013b): Integrierte Klimaschutzkonzepte Energie und Verkehr. http://www.stadt-koeln.de/leben-in-koeln/umwelt-tiere/klima/integrierte-klimaschutzkonzepte-energie-und-verkehr. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Stodtmeister, W. (2015): Grundlagen der Planung von Abwasserenergieanlagen - Kanal/Gebäude - Machbarkeitsstudie/Vertrag. Februar 25. http://www.e-qua.de/fileadmin/vortraege/Grundlagen_der-Planung_von_Abwasserwaermenutzungsprojekten.pdf. Aufgerufen am: 10.4.2017.

Wolfram, M. und N. Frantzeskaki (2016): Cities and Systemic Change for Sustainability: Prevailing Epistemologies and an Emerging Research Agenda. Sustainability 8 (2): 144. doi:10.3390/su8020144.

4. Serverabwärmenutzung in Hamm

Autorinnen und Autoren: Katharina Hölscher[1], Julia M. Wittmayer[1], Alfred Olfert[3], Jörg Walther[4]

[1] Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
[2] Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus-Senftenberg
[3] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden

1 Einleitung

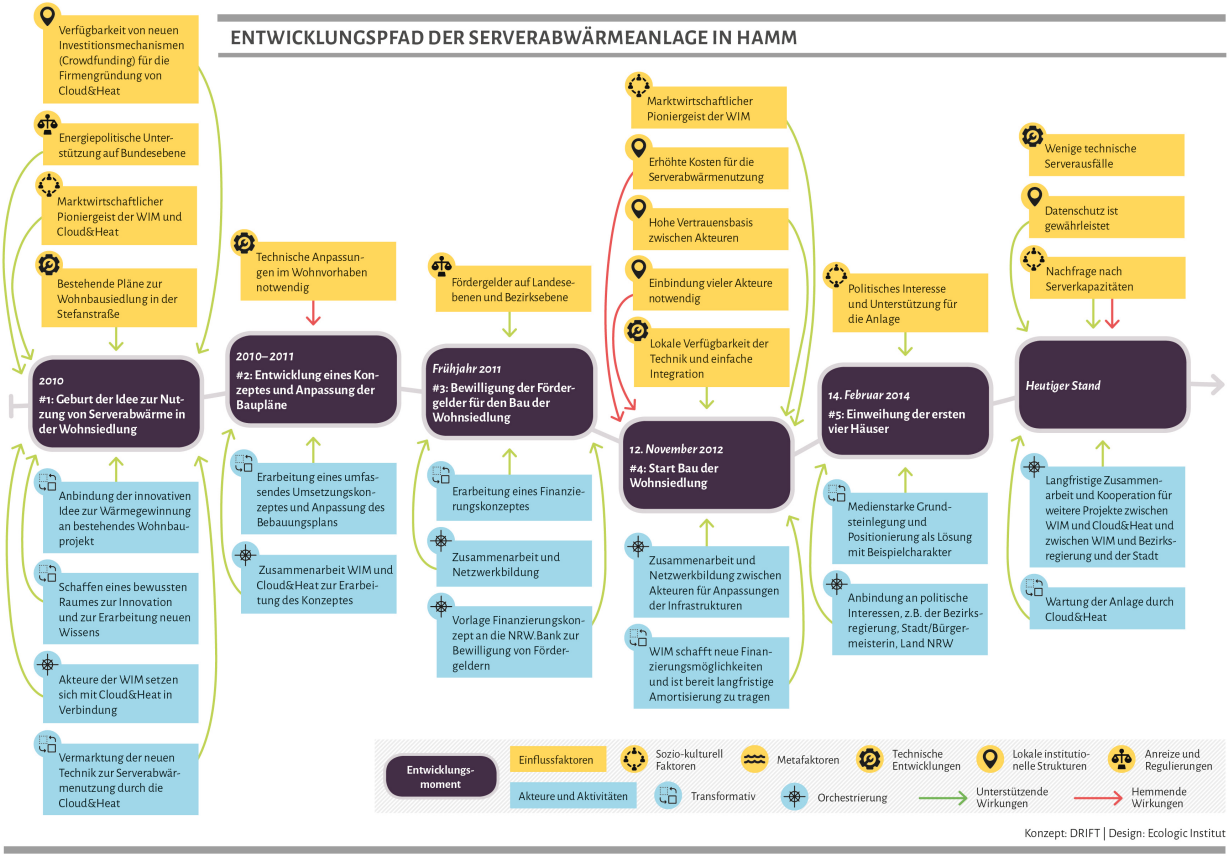
Die zugrundeliegende Idee ist einfach: Eine Leistungszunahme bei Computerservern führt als Nebenprodukt zu einem erhöhten Wärmeausstoß. Zum Schutz vor Überhitzung werden Server gekühlt, wofür viel Energie aufgewendet werden muss. Warum nicht diese Energie einsparen und die Abwärme für die E rwärmung von Räumen oder Wasser nutzen? Diese Kopplung der Sektoren Energieversorgung und Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) wurde in einer Wohnsiedlung in der Stefanstraße in Hamm, Nordrhein-Westfalen (NRW) realisiert. Im Stadtteil Bockum-Hövel werden 36 Mietshäuser für Familien mit zwei bis drei Kindern mit Server-Abwärme beheizt. In diesen öffentlich geförderten und mit Wohnberechtigungsschein zu mietenden Häusern wurden Computerserver installiert, welche die ursprünglich angedachte Wärmequelle Gas ersetzen. Die Kopplung erfolgt somit technisch über Server-Abwärmenutzungsanlagen. Ein Wärmetauscher gibt die Wärme an eine Wärmepumpe ab, die mit einem Pufferspeicher kombiniert ist.
Die konkreten Planungen zum Bau der Wohnungen wurden in 2010 begonnen. Zwei Jahre später wurde die Wohnsiedlung gebaut und in 2014 wurden die ersten Häuser eingeweiht. Gegenwärtig ist der Bau abgeschlossen und alle Wohnungen sind vermietet. Federführend ist der Projektentwickler Wilczek Immobilien Management (WIM). Zusammen mit dem Anbieter der Server-Abwärmenutzungsanlagen, die Firma Cloud&Heat (früher AOTERRA GmbH) in Dresden, und dem Wohnungsförderamt der Stadt Hamm wurde ein Konzept entwickelt, welches durch die NRW.Bank finanziert und das NRW Umweltministerium gefördert wurde. Cloud&Heat bietet sowohl die Server, die dezentral in den Wohnungen installiert werden, als auch den sich durch die Server-Kapazität ergebenen Cloud-Service an.
Im Folgenden beschreiben und analysieren wir den Entwicklungspfad der Server-Abwärmenutzungsanlagen in den Mietshäusern in Hamm Bockum-Hövel von der Idee bis zum heutigen Stand. Die geographische Eingrenzung der Analyse ergibt sich durch einen Fokus auf die Stadt Hamm, in welcher diese Kopplung eine Nischenentwicklung darstellt. Funktional handelt es sich um die Sektoren Energieversorgung und IKT. Wir betrachten die Infrastrukturkopplung als eine innovative technische Lösung, um das bisher ungenutzte Potential von Serverabwärme für Wärmegewinnung nutzbar zu machen. Die Anlage hat somit das Potential, an Ressourceneffizienz beizutragen, die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas zu reduzieren, CO_2-Emissionen zu senken und an lokaler Energieautarkie beizutragen. In diesem Zusammenhang kann sie auch einen Beitrag an einer lokalen Transformation hinsichtlich einer nachhaltigeren Energieversorgung leisten.
Das Vorgehen zur Beschreibung und Analyse des Entwicklungspfades folgt dem Analyserahmen für TRAFIS AP 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf zwei Interviews mit an dem Projekt beteiligten Akteuren und Akteurinnen (Anhang 2.3). **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung festzustellen.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der Handlungen von Akteuren, um aufzuzeigen, durch welche

Handlungen Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind und den Entwicklungspfad vorangetrieben haben und welche Herausforderung bestehen bleiben. Darüber hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) der Serverabwärmeanlage zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit die Infrastrukturkopplung an einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann.
Wir beschreiben zunächst den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung von der Idee bis zum heutigen Stand (Abschnitt 2). Hierzu benennen wir die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfads sowie die diese Schritte beeinflussenden Faktoren. Im nächsten Schritt analysieren wir die Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfads: Welche Einflussfaktoren und akteursbezogenen Prozesse wirken sich auf die Entwicklungsmomente aus (Abschnitt 3). Zuletzt beschreiben wir den erzielten Beitrag der Serverabwärmenutzung an einer Nachhaltigkeitstransformation (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im Folgenden stellen wir den Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlagen von der Idee bis zum heutigen Stand anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente vor. Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Energieversorgung und Informations- und Kommunikationstechnik in der Stadt Hamm. Abbildung 9 gibt eine visuelle Übersicht über die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfades und die wesentlichen Einflussfaktoren.

Abbildung 9: Der Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in Hamm



2.1 Entwicklungsmoment #1: Geburt der Idee zur Nutzung von Serverabwärme in der Wohnsiedlung (2010)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Eigentlich sollte für die geplante Wohnsiedlung in der Stefanstraße in Hamm Gas als primärer Heizenergieträger für die Wohnungen verwendet werden. Kurz vor dem Baustart inspirierte allerdings ein Fachartikel über die neuartige Technik zur Serverabwärmenutzung der Firma Cloud&Heat (damals noch AoTerra) die Projektentwickler von der WIM, auf diese Technik anstelle von Gas zur Wärmeversorgung der Wohnungen zurückzugreifen (Bezirksregierung Arnsberg 2014) – damit war die Idee für die Infrastrukturkopplung geboren. Laut Projektentwickler ging es ihnen insbesondere um die „Förderung technischer Ideen zu Gunsten des Umweltschutzes" (Mertin und Wilmer 2017, mündlich). Obwohl konventionelle Heizenergieträger wie Gas sowohl einfacher als auch billiger gewesen wären war man der Ansicht, dass derartige umweltfreundliche Innovationen explizit gefördert werden müssen.
Die Idee für die Nutzung von Serverabwärme für Wärmeversorgung und somit für die Kooperation zwischen WIM (Projektentwickler der Wohnsiedlung) und Cloud&Heat, einem Anbieter für cloud-basierte Rechenleistungen durch Computerserver und gleichzeitig Energieversorger, ist einfach: Die Computerserver führen zu einem Wärmeausstoß. Zum Schutz vor Überhitzung müssen die Server gekühlt werden. Durch Serverabwärmeanlagen – einem Wärmetauscher, welcher die Wärme der Server an eine Wärmepumpe abgibt und die mit einem Pufferspeicher kombiniert ist – kann die Abwärme für die Erwärmung von Räumen oder Wasser genutzt werden (Cloud&Heat 2014). Die Server von Cloud&Heat werden in den zu beheizenden Immobilien installiert und über das Internet zu einem virtuellen Rechenzentrum zusammengeschaltet. Bei seinem Cloud-Speicher gewährleistet Cloud&Heat höchste Sicherheitsstandards. Die Server-Heizungen verringern Umweltbelastungen und senken Heizkosten (ebd.).
Zum Zeitpunkt der Entwicklung dieser Idee zur Serverabwärmenutzung in der Wohnsiedlung in der Stefanstraße war diese Technik bereits als breitere Nischeninnovation entwickelt. Die Neuheit bei dieser Umsetzung in Hamm war die Realisierung dieser Anlagen in Einfamilienhäusern – davor gab es hierfür nur einen Prototyp (Mertin und Wilmer 2017, mündlich).
Die breitere Technikentwicklung basiert einerseits auf der zunehmenden Entwicklung von IKT, das heißt Informationen können schneller und in immer größer werdenden Umfang übermittelt werden, und die damit einhergehende Digitalisierung (vermehrte Nutzung von digitalen Medien und Prozessen), welche zu der gestiegenen Nachfrage nach Speicherplatz in der Form von Cloud-Systemen beiträgt. Servergestützte Datenverwaltungen haben gegenüber dezentralen desktopgestützten Lösungen insbesondere für Unternehmen und Verwaltungen Vorteile. Die Daten können zentral gepflegt und aktualisiert sowie nutzerspezifisch geschützt und gesichert werden. Der Einsatz von Servern wurde somit im breiten Umfang im privaten und öffentlichen Sektor (ökonomisch) attraktiv.
Andererseits erfordert die Zunahme der Serverleistung neue Strategien der Kühlung, da sie zu einer Erhöhung der Abwärme führt. Verbleibt die Abwärme im Server, führt sie zu einer Überhitzung der einzelnen Komponenten und damit zu einer temporären oder dauerhaften Schädigung des Serversystems. Ein ausgeglichener Wärmehaushalt auf einem vergleichsweise geringen Temperaturniveau von 30-70°C (je nach System) ist deshalb für den Erhalt der Serverleistung eine zentrale Voraussetzung. Die durch die Prozessoren sowie die peripheren Komponenten innerhalb der Server entstehende Abwärme muss deshalb über Kühlkörper sowie einen permanenten Luftaustausch abgeführt werden. Die thermische Verwaltung der Server(räume), das heißt die Klimatisierung und der daraus resultierende Platzbedarf ist eine Herausforderung im Betrieb zentral verwalteter Datennetze. Seit Mitte der 2000er Jahre haben alle großen Serverhersteller wassergekühlte Lösungen für Serverkomponenten im Angebot. Die Wasserkühlung bietet zwar einige Vorteile – unter anderem erlaubt

die im Vergleich zu Luft höhere Wärmekapazität eine kontrollierte Aufnahme und Abführung der Abwärme und damit eine sehr genaue Steuerung des Wärmehaushaltes der Prozessoren und Komponenten. Der Platzbedarf sowie die Geräuschentwicklung sind geringer. Nachteilig sind jedoch der mit der Führung des Trägermediums durch das System verbundene technische (Leitungs-)Aufwand.
Die Nutzung der Abwärme, zum Beispiel für die Beheizung von Gebäuden, wurde durch die zunehmende Verbreitung der Flüssigkühlung technisch einfacher, ist beziehungsweise war aber auch bereits bei einer Luftkühlung möglich. Im privaten Gebäudebereich fasste die Idee zur Beheizung mit Serverabwärme Ende der 2000er Jahre Fuß. Pioniere aus der Forschung. Informatik-Professor Dr. Christof Fetzer (Systems Engineering) und Dr. Jens Struckmeier entwickelten die patentierte Technologie in langjähriger Forschungsarbeit und gründeten gemeinsam mit Marcel Schretzmann 2011 die AoTerra GmbH, heute Cloud&Heat Technologies GmbH (Cloud&Heat 2017).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bestehende beziehungsweise fast abgeschlossene Pläne zur Wohnbausiedlung in der Stefanstraße: Seit dem Abriss einer veralteten Häusersiedlung im Jahr 2006 lag die 8000 m2 Fläche brach (Bezirksregierung Arnsberg 2014, WA 2014, WIM 2014). Nach einer langen Vorbereitungszeit und unterschiedlichen Plänen erwarb die WIM das Areal (WA 2011, 2012, 2014) und begann mit den konkreten Planungen für das Wohnungsbauprojekt (WIM 2014). Die Pläne für diese Wohnbausiedlung boten das Potential um Serverabwärmeanlagen zu installieren.
- Marktwirtschaftlicher Pioniergeist der WIM: Die WIM waren explizit daran interessiert, umweltfreundliche Innovationen zu fördern und hatten durch diese Unternehmenskultur die Möglichkeit von ‚business-as-usual' abzuweichen.
- Marktwirtschaftlicher und wissenschaftlicher Pioniergeist von Cloud&Heat: Cloud&Heat (damals AoTerra) wurde von Akteuren aus der Forschung gegründet, um die patentierte Technik zur Beheizung mit Serverabwärme weiter zu entwickeln und auf dem Markt verfügbar zu machen.
- Technische Entwicklungen um Servernutzung und Technik zur Serverabwärmenutzung: Der Einsatz von Servern wurde im breiten Umfang im privaten und öffentlichen Sektor (ökonomisch) attraktiv. Die steigende Leistungsfähigkeit servergestützter Datennetze, starke Preissenkungen für die nötige Hardware und die generelle Akzeptanz der Digitalisierung von Daten führten zu einem wachsenden Markt für Server. Dies beförderte wiederum die Weiterentwicklung der Systeme – auch für den Umgang mit Serverabwärme beziehungsweise diese nutzbar zu machen.
- Energiepolitische Unterstützung und Rahmensetzung auf Bundesebene: Die Bundesregierung hat zum Beispiel mit der Energieeinsparverordnung und der davor gültigen Wärmeschutzverordnung sowie der Begleitung durch entsprechende Förderung für energieeffizientes Bauen Instrumente geschaffen, die den zulässigen Energiebedarf von neu errichteten Wohn- und Nichtwohngebäuden stark begrenzen und im Bestand im Zuge von zyklischen Modernisierungsmaßnahmen verbrauchssenkende Maßnahmen einfordern.
- Umweltpolitisches Engagement in Hamm: Die Stadt Hamm nimmt teil an der Lokalen Agenda 21 und setzte beispielsweise von 1992 bis 2002 das Modellprojekt „Ökologische Stadt der Zukunft" des Landes NRW um, im Rahmen dessen über 200 Bürgerprojekte und eine Anzahl von Projekten mit der Wirtschaft umgesetzt wurden (Stadt Hamm 2002).
- Verfügbarkeit von neuen Investitionsmechanismen (Crowdfunding) für die Firmengründung von Cloud&Heat: Die Firma selbst wurde über die Crowdfunding-Plattform „seedmatch" mit Startkapital versorgt (Energiesparhaushalt.de o.J.).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- ► Schaffen eines bewussten Raumes zur Innovation und zur Erarbeitung neuen Wissens: Akteure der WIM informieren sich über neuartige Technologien und haben innerhalb des Unternehmens die Möglichkeit, diese umzusetzen.
- ► Vernetzung mit Cloud&Heat: Akteure der WIM setzen sich mit Cloud&Heat in Verbindung um die neue Technik zur Serverabwärmenutzung in das Wohnbauprojekt zu integrieren.
- ► Anbindung der innovativen Idee zur Wärmegewinnung an das bestehende Wohnbauprojekt – trotz erhöhten Aufwandes und erhöhter Kosten.
- ► Vermarktung und Medienpräsenz der neuen Technik zur Serverabwärmenutzung durch die Cloud&Heat. Akteure der WIM, welche die Wohnbausiedlung geplant und umgesetzt haben, wurden durch einen Fachartikel auf die Technologie zur Serverabwärmenutzung aufmerksam.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Entwicklung eines Konzeptes und Anpassung der Baupläne (2010 bis 2011)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Ausgehend von dem Interesse der WIM, die Technologie zur Serverabwärmenutzung als Wärmequelle für die Wohnungen in dem Bauvorhaben in der Stefanstraße zu integrieren, wurde gemeinsam mit Cloud&Heat ein Umsetzungskonzept entwickelt. Von der Idee der Nutzung der Serverabwärmeanlagen bis zum vollständigen Konzept vergingen ungefähr sechs Monate. In dem Konzept geht es um die Konfiguration der technischen Anlagen; es beantwortet unter anderem folgende Fragen: Welche Geräte sind notwendig? Welche Wärmeleistung ist nötig für das Haus? Was ist der Platzbedarf, die Größe und Terminierung für die Technik und wie und wo können sie eingebracht werden? Das Konzept war nötig, weil es eine solche Umsetzung noch nicht gab und für die Finanzierung der Anlage (Mertin und Wilmer 2017, mündlich). Eine Notwendigkeit war es beispielsweise aufgrund des innovativen Charakters der Anlage zuverlässige Heizungsmonteure zu identifizieren, welche von Anfang an in der Projektierung und Planung involviert waren (ebd.).
Die Entwicklung des Konzeptes führte dazu, dass einige Anpassungen in dem Wohnvorhaben vorgenommen wurden, um die Voraussetzungen für die Integration der Serverabwärmeanlagen zu schaffen (ebd.). Beispielsweise musste die Infrastruktur im Bereich Datenversorgung und Stromversorgung angepasst werden. Ein Glasfaserkabelnetz war notwendig um schnelle Datenversorgung zu gewährleisten (Cloud&Heat 2014). Das Glasfaserkabel darf aufgrund von Datensicherheit für den Mieter nicht frei zugänglich sein. Daten sind nicht einfach auslesbar – es gibt ein mehrfach redundantes Sicherheitssystem. Die Schränke haben eine komplett eigene Leistung und Kabelführung (ebd., Mertin und Wilmer 2017, mündlich). Außerdem mussten die die Baupläne angepasst werden, um Raum für Lüftungen zu schaffen und so die überschüssige Wärme abführen zu können. Hierfür mussten am Rohbau die Löcher für die Lüftungsschächte an der richtigen Stelle sein (Mertin und Wilmer 2017, mündlich). Die Serverschränke mussten eingebaut werden bevor das Dach gebaut wurde. Der Estrich, auf dem die Serverschränke stehen, muss ‚entkoppelt' sein, damit es nicht zu Schallübertragung kommt. Außerdem mussten die Leitungsführung für Strom und Wasser angepasst werden.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- ► Anpassungen in Wohnvorhaben: Um die Voraussetzungen für die Integration der Serverabwärmeanlagen zu schaffen wurden verschiedene technische Anpassungen vorgenommen. Beispielsweise war ein Glasfaserkabel notwendig.
- ► Baugenehmigungen für die Wohnsiedlung waren bereits erteilt: Nachdem die Pläne für die Wohnsiedlung mit der Idee der Serverabwärmeanlagen verbunden waren, konnte es relativ

schnell zur Umsetzung kommen. Dies lag unter anderem daran, dass die Wohnsiedlung bereits kurz vor dem Baustart stand und zu diesem Zeitpunkt die Baugenehmigungen der Stadt Hamm schon erteilt waren – diese hatten nichts zu tun mit der verwendeten Wärmequelle.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Erarbeitung eines Umsetzungskonzeptes und Anpassung des Bebauungsplans.
- Zusammenarbeit der WIM und Cloud&Heat zur Erarbeitung des Umsetzungskonzeptes sowie enger Austausch mit weiteren Akteuren für die Umsetzung wie Heizungsmonteuren.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Bewilligung der Fördergelder für den Bau der Wohnsiedlung (Frühjahr 2011)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Während die Planungen für die Integration der Serverabwärmeanlage in das Wohnbauprojekt fortschritten, musste noch die nötige Finanzierung für den Bau der Wohnsiedlung sichergestellt werden (WA 2010). Die Investition in die Wohnanlage betrug 6,4 Millionen Euro (WA 2014). Die NRW.Bank hat im Rahmen des Programmes „Förderung von Mietwohnraum – Mietwohnungen Neubau“ Fördergelder bewilligt (Bezirksregierung Arnsberg 2014). Das Programm dient der Finanzierung für öffentlich geförderten Mietraum für Familien mit Kindern und stellte somit die Bedingung, dass bezahlbarer Wohnraum für eben diese Gruppe verfügbar gemacht wird. Die Stadt Hamm ist die Bewilligungsbehörde für die NRW.Bank – sie übernimmt die komplette Abwicklung, Prüfung der Kosten etc.
Der Bau der Serverabwärmeanlagen in den Mietwohnungen erhöhte die Investitionskosten – zum Beispiel benötigen die Anlagen Stromleitungen mit höherer Leistungsfähigkeit und spezielle Glasfaserkabel für den Datenverkehr (Cloud&Heat 2014). Dieser Mehraufwand konnte mitfinanziert werden. Einerseits hat das NRW Umweltministerium Fördermittel im Rahmen eines Programmes für regenerative Energiekonzepte zur Verfügung gestellt. Dies war ein Vorläufer des Förderprogrammes ‚Progress NRW Markteinführung‘ (Bezirksregierung Arnsberg 2017). Interessanterweise wurde dieses Förderprogramm auf Basis der Anfrage der WIM ins Leben gerufen. Die Bezirksregierung Arnsberg ist für dieses Förderprogramm zuständig und hat die Fördermittel aus diesem Landesprogramm bewilligt. Mit der Bezirksregierung hat die WIM mittlerweile gute Beziehungen. Andererseits wurden die höheren Kosten durch die WIM selbst getragen – sie haben bereitwillig längere Amortisierungszeiten in Kauf genommen. Dies entspricht auch dem Selbstverständnis der WIM, Innovationen für Umweltschutz zu fördern. Die WIM bezahlt die Anschaffungskosten für die Serverschränke – die Kosten für einen Serverschrank betragen um die 12.000 Euro. Die Kosten für den laufenden Betrieb der Server, also Strom- und Wartungskosten, bezahlt Cloud&Heat, und gewährleistet so den Serverbetrieb und kostenlose Wärmeversorgung für 15 Jahre (Cloud&Heat 2014, Energiesparhaushalt.de o.J.). Langfristig rechnet WIM als Vermieter mit Kostenersparnissen, obwohl es zunächst im Vergleich zu anderen Lösungen mehr investieren muss.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Fördergelder auf Landesebene verfügbar: Die Wohnbausiedlung und die Installation der Serverabwärmeanlagen wurden durch die NRW.Bank im Rahmen des Förderprogrammes „Förderung von Mietwohnraum – Mietwohnungen Neubau“ und durch das NRW Umweltministerium gefördert.
- Erhöhte Kosten für die Serverabwärmenutzung: Die Serverabwärmeanlagen erhöhten die Investitionskosten.
- Marktwirtschaftlicher Pioniergeist der WIM: Die WIM waren dazu bereit die längeren Amortisierungszeiten durch die erhöhten Investitionskosten der Serverabwärmeanlage zu tragen

und diese nicht in höhere Energiekosten für die Bewohnerinnen und Bewohner zu übertragen. WIM war der erste Großkunde von Cloud&Heat zur Abnahme der Serverschränke – auch dies weist auf den Pioniergeist der WIM hin.

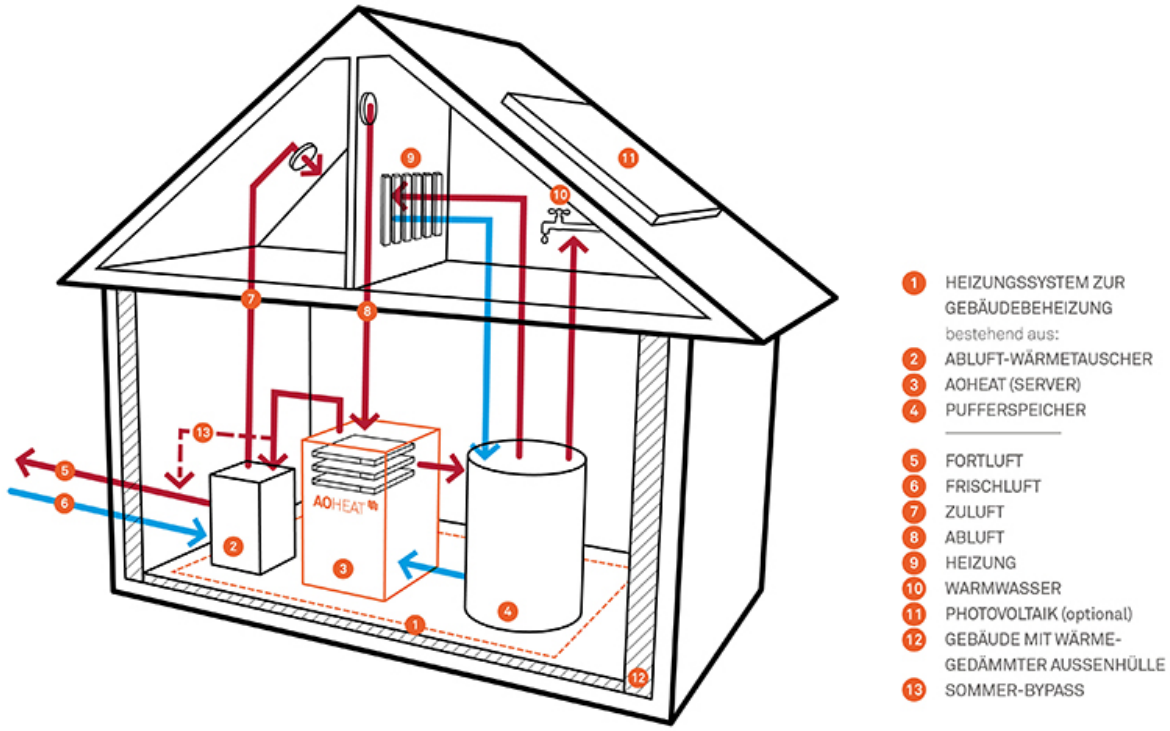
Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Zusammenarbeit und Netzwerkbildung zwischen WIM und dem Wohnungsförderungsamt der Stadt Hamm zur Erstellung eines Finanzierungskonzeptes: Zur Finanzierung der Technologie entwickelte die WIM gemeinsam mit dem Wohnungsförderungsamt der Stadt Hamm ein Konzept und stellte dieses der NRW.Bank vor. Die Mittel konnten schnell bewilligt werden (Mertin und Wilmer 2017, mündlich, WIM 2014, Bezirksregierung Arnsberg 2014).
- WIM schafft neue Finanzierungsmöglichkeiten und ist bereit langfristige Amortisierung zu tragen.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Start Bau der Wohnsiedlung (12. November 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Der Bau der Wohnsiedlung, einschließlich der Serverabwärmenutzung als Heizquelle startete am 12. November 2012 (WA 2014). Insgesamt wurden 36 Häuser – sowohl Doppelhaushälften und Reihenhäuser – mit Wohnflächen von 82 bis 112 m2 errichtet. Zwei Häuser haben Aufzüge und sind für Bewohner mit behinderten Familienmitgliedern vorgesehen (WIM 2014). Die Auflagen der Förderung durch die NRW.Bank erfordern, dass die Wohnungen mit Wohnberechtigungsschein gemietet werden – das heißt, dass die Wohnungen an einkommensschwache Familien mit Kindern vermietet werden (WA 2014).
Durch die Serverabwärmenutzung mussten technische und organisatorische Anpassungen im Bau der Siedlung durchgeführt werden. So verfügt jede Wohneinheit über einen Wirtschaftsraum mit einem speziellen Serverschrank, in dem 18 Rechner stehen. Diese Serverschränke erzeugen so viel Wärme, dass sie Heizung und Brauchwasser für ein Einfamilienhaus erwärmen können (Bezirksregierung Arnsberg 2014, WA 2014). Über einen Wärmetauscher wird die Abwärme an eine Wärmepumpe, die mit einem Pufferspeicher kombiniert ist, für die Heizung und Warmwasseraufbereitung abgegeben. Die Serverabwärmeanlagen haben eine Energieleistung von 4 kW (Bezirksregierung Arnsberg 2014) beziehungsweise 3,6 kW (Cloud&Heat 2014). Im Sommer wird überschüssige Wärme über einen Lüfter im Hausdach abgelassen. Spitzenwerte beim Warmwasserbedarf können durch einen Heizstab im Pufferspeicher ausgeglichen werden (Bezirksregierung Arnsberg 2014). Neben der Serverwärme verfügen die Bewohnerinnen und Bewohner über besonders schnelle Datenleitungen (WIM 2014).
Die Umsetzung der Anlage in dem Wohnungsbau basierte auf einer guten Kooperation unterschiedlicher Akteure. WIM kaufte die Serverschränke, Heizanlagen und Wärmepumpen von Cloud&Heat. Als Gegenleistung übernimmt Cloud&Heat die technische Wartung. Diese kann größtenteils online erledigt werden – nur in Ausnahmefällen müssen Techniker direkt in die Häuser zu den Anlagen (WIM 2014).
Unity Media, ein großer deutscher Kabelnetzbetreiber und zuständig für Gebiet Hamm, hat das Glasfaserkabelnetz extra ausgebaut. Die lokalen Stadtwerke Hamm errichteten eine extra Trafostation um den Strom für die Server zu garantieren – durch die Datenlast kann es Spitzen im Stromverbrauch gekommen.

Abbildung 10: Die Server-Heizung versorgt ein komplettes Haus



Quelle: Energiesparhaushalt.de (o.J.)

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Verfügbarkeit der Technik und relative einfache Integration in der Wohnsiedlung: Durch die Serverabwärmenutzung mussten zwar technische Anpassungen im Bau der Siedlung durchgeführt werden. Diese konnten allerdings auch aufgrund der guten Planungen und Kooperationen gut umgesetzt werden.
- Einbindung vieler Akteure notwendig, aber hohe Vertrauensbasis zwischen Akteuren: Für die Umsetzung der Anlage in der Wohnsiedlung mussten unterschiedliche Akteure eingebunden werden – beispielsweise Unity Media, ein deutscher Kabelnetzbetreiber, und die Stadtwerke Hamm. Dies konnte problemlos erfolgen, auch aufgrund von bestehenden Kontakten zwischen den Akteuren.
- Hohe Vertrauensbasis zwischen Akteuren: Beispielsweise arbeitet die WIM schon seit zwanzig Jahren mit einer Firma von Heizungsmonteuren zusammen. Mit dieser wurde in Hamm dieses Neuland betreten und auch bei einer weiteren Umsetzung von Serverabwärmenanlagen in einer Wohnsiedlung in Münster wurden diese wieder durch die WIM eingebunden.
- Politische Unterstützung: Die Wohnsiedlung wurde durch den Stadtrat und die Bezirksvertretung Bockum-Hövel unterstützt (WA 2012).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Zusammenarbeit und Netzwerkbildung zwischen Akteuren für Anpassungen der Infrastrukturen (zum Beispiel Unity Media und Stadtwerke). Beispielsweise war die Zusammenarbeit zwischen

WIM und Stadtwerken vorzüglich, da beide Unternehmen ein Interesse an der Anpassung der Infrastruktur haben und durch den Mehrverbrauch höhere Umsätze haben.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Öffentlichkeitswirksame Einweihung der ersten vier Häuser (14. Februar 2014)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Im Februar 2014 waren die ersten vier Häuser der Siedlung fertiggestellt und wurden mit vielen geladenen Gästen und Medien eingeweiht – unter anderem nahmen Bürgermeisterin Monika Simshäuser und Vertreter der Bezirksregierung teil (Bezirksregierung Arnsberg 2014, WA 2014). Die Serverabwärmenutzungsanlage in der Wohnsiedlung wurde als wegweisend für die Zukunft vorgestellt und erfuhr in diesem Sinne viel politische Unterstützung. Bürgermeisterin Monika Simshäuser betonte, dass dieses Heizsystem auch die Ambitionen der Stadt Hamm in Richtung ökologische Stadt der Zukunft weiterbringe (WA 2014). Die Bezirksregierung erklärte, solche Projekte auch weiterhin fördern zu wollen (ebd.). Ein besonderer Mehrwert der Lösung sei, dass auch bezahlbarer Wohnraum für Familien mit zwei bis drei Kindern geschaffen worden sei (Bezirksregierung Arnsberg 2014). Bis Juni 2014 sollten alle Häuser belegt sein (WIM 2014).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Politisches Interesse und Unterstützung für die Anlage in Hamm: Das neue Heizsystem wurde auch im Zusammenhang mit den umweltpolitischen Ambitionen der Stadt unterstützt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Medienstarke Einweihung und Positionierung als Lösung mit Beispielcharakter.
- Anbindung an lokale und landespolitische Umweltinteressen: Die Bürgermeisterin und die Bezirksregierung Arnsberg unterstützen das neue Heizsystem in der Wohnsiedlung als zukunftsweisend.

2.6 Heutiger Stand

Beschreibung des heutigen Stands der Infrastrukturkopplung:
Die Wohnungen sind seit Jahren vermietet und die Wärmeversorgung durch die Serverschränke läuft einwandfrei. Da es sich um öffentlich finanzierte Wohnungen handelt werden die Mieterinnen und Mieter in Kooperation mit der Stadt Hamm ausgewählt (Mertin und Wilmer 2017, mündlich). Die WIM kümmert sich um die ‚wasserlastige' Wartung (alles außerhalb des Serverschrankes, zum Beispiel Wärmepumpen), Cloud&Heat kümmert sich um die Wartung der Server. Dies geschieht durch Fernwartung – Fehlermeldungen gehen direkt an Cloud&Heat und Mitarbeiter sind einmal jährlich vor Ort.
Die WIM hat in Münster noch zwölf weitere Einfamilienhäuser gebaut, welche mit Serverabwärmenutzungsanlagen beheizt werden. Bei diesen handelt es sich nicht um öffentlich finanzierte Wohnungen, das heißt die WIM such die Mieter selbstständig aus (ebd.). Der weitere Einbau von Serverschränken in Wohnsiedlungen scheitert an Cloud&Heat: Sie vermarkten die Rechenleistung und Speicherkapazität und müssen diese natürlich auch vermieten – das heißt, es muss erst Bedarf für weitere Rechenleistung bestehen bevor mehr Server zur Abwärmenutzung errichtet werden können. Während diese Lösung zukunftsträchtig ist, zeigte sich, dass in der Endanwendung eine zentrale Anlage als Nahwärmezentrum oder in Mehrfamilienhäusern die geschicktere Anwendungsmöglichkeiten darstellen – so hält sich insbesondere der technische Aufwand im Rahmen (ebd.).

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Nachfrage nach weiteren Serverkapazitäten: Nachfrage nach Serverkapazitäten ist grundsätzlich gegeben und notwendig für den weiteren Einbau von Serverabwärmeanlagen. Die Nachfrage bei Cloud&Heat ist derzeit begrenzt und behindert somit einen weiteren Einbau.
- Datenschutz ist gewährleistet: Die Serverschränke sind ähnlich wie Tresore konstruiert. Außerdem werden Daten nicht als Pakete gespeichert, sondern über die Rechenzentren auf mehrere Serveradressen verteilt. Somit muss kein Cloud&Heat-Kunde um den Datenschutz bangen (WIM 2014).
- Wenige technische Serverausfälle: Es werden wohl einige Serverausfälle von Mieterinnen und Mietern angegeben – diese sind aber nicht tragisch und die Technik funktioniert.

Der heutige Stand wird von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Aufnahme von Serverabwärmenutzung zur Wärmegewinnung in das Portfolio um Wohnsiedlungen zu planen und umzusetzen.
- Zusammenarbeit und Kooperation für weitere Projekte zwischen WIM und Cloud&Heat und zwischen WIM und Bezirksregierung und der Stadt: WIM arbeitet bei der Vermietung der Wohnungen eng mit der Stadt Hamm zusammen, denn die Kommune hat durch die Wohnbauförderung zwanzig Jahre ein Belegungsrecht (WIM 2014). Außerdem haben sich enge Kooperationsstrukturen zwischen WIM und Cloud&Heat sowie zwischen WIM und der Bezirksregierung gebildet um weitere ähnliche Projekte umzusetzen.
- Wartung der Anlage durch WIM und Cloud&Heat: Die WIM kümmert sich um die ‚wasserlastige' Wartung (alles außerhalb des Serverschrankes, zum Beispiel Wärmepumpen), Cloud&Heat kümmert sich um die Wartung der Server.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in Hamm ist durch vielzählige Veränderungsdynamiken zwischen Einflussfaktoren aus dem Kontext des Systems und Handlungen gekennzeichnet. Im Folgenden beschreiben wir zunächst die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während der einzelnen Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind, und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Entwicklungspfad. Daraufhin analysieren wir die Handlungen der unterschiedlichen Akteure um mit den Einflussfaktoren umzugehen. Tabelle 6 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken (Einflussfaktoren und Wirkungen sowie Akteure und Handlungen) während der Entwicklungsmomente.

Tabelle 6: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in Hamm

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Die Geburt der Idee zur Nutzung von Serverabwärme in der Wohnsiedlung (2010)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Bestehende beziehungsweise fast abgeschlossene Pläne zur Wohnbausiedlung in der Stefanstraße	Unterstützend: boten das Potential um Serverabwärmeanlagen zu installieren.	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Anbindung der innovativen Idee zur Wärmegewinnung an das bestehende Wohnbauprojekt – trotz erhöhten Aufwandes und erhöhter Kosten.
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Marktwirtschaftlicher Pioniergeist der WIM	Unterstützend: Interesse und Möglichkeiten für die Einbindung einer umweltfreundlichen Innovation	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Schaffen eines bewussten Raumes zur Innovation und zur Erarbeitung neuen Wissens: Akteure der WIM informieren sich über neuartige Technologien und haben innerhalb des Unternehmens die Möglichkeit, diese umzusetzen. *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Akteure der WIM setzen sich mit Cloud&Heat in Verbindung um die neue Technik zur Serverabwärmenutzung in das Wohnbauprojekt zu integrieren.
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Technische Entwicklungen um Servernutzung und Serverabwärmenutzung	Unterstützend: macht den Einsatz von Servern attraktiv und befördert die Weiterentwicklung und Nutzbarmachung	
	Anreize und Regulierungen: Energiepolitische Unterstützung und Rahmensetzung auf Bundesebene	Unterstützend: fördert energieeffizientes Bauen	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Umweltpolitisches Engagement in Hamm	Unterstützend: stellt günstigen Umsetzungskontext dar	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Marktwirtschaftlicher und wissenschaftlicher Pioniergeist von Cloud&Heat	Unterstützend: Forschung um die patentierte Technik zur Beheizung mit Serverabwärme zu entwickeln und auf dem Markt verfügbar zu machen	*Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Vermarktung der neuen Technik zur Serverabwärmenutzung durch die Cloud&Heat.
	Institutionelle Faktoren: Verfügbarkeit von neuen Investitionsmechanismen (Crowdfunding)	Unterstützend: Startkapital für die Firmengründung von Cloud&Heat	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#2: Entwicklung eines Konzeptes und Anpassung der Baupläne (2010 bis 2011)	*Lokale technische Entwicklungen:* Technische Anpassungen im Wohnvorhaben notwendig	Hemmend: erfordert Mehraufwand	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Erarbeitung eines umfassendes Umsetzungskonzeptes und Anpassung des Bebauungsplans.
	Institutionelle Faktoren: Baugenehmigungen für die Wohnsiedlung waren bereits erteilt	Unterstützend: es konnte relativ schnell zur Umsetzung kommen	*Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Zusammenarbeit WIM und Cloud&Heat zur Erarbeitung des Konzeptes.
#3: Bewilligung der Fördergelder für den Bau der Wohnsiedlung (Frühjahr 2011)	*Anreize und Regulierungen:* Fördergelder auf Landesebene verfügbar	Unterstützend: stellt Investitionskapital zur Verfügung	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Erarbeitung eines Finanzierungskonzeptes. WIM schafft neue Finanzierungsmöglichkeiten und ist bereit die langfristige Amortisierung zu tragen. *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Zusammenarbeit und Netzwerkbildung zwischen WIM und dem Wohnungsförderungsamt der Stadt Hamm zur Erstellung eines Finanzierungskonzeptes. *Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Vorlage Finanzierungskonzept an die NRW.Bank zur Bewilligung von Fördergeldern.
	Lokale technische Entwicklungen: Erhöhte Kosten für die Serverabwärmenutzung	Hemmend: Die Serverabwärmeanlagen erhöhten die Investitionskosten	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Marktwirtschaftlicher Pioniergeist der WIM	Unterstützend: Bereitschaft die längeren Amortisierungszeiten der Serverabwärmeanlage zu tragen	
#4: Start Bau der Wohnsiedlung (12. November 2012)	*Lokale technische Entwicklungen:* Lokale Verfügbarkeit der Technik und einfache Integration	Unterstützend: vereinfacht die Installation der Anlage	
	Institutionelle Faktoren: Einbindung vieler Akteure notwendig	Hemmend: stellt Mehraufwand dar	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Institutionelle Faktoren: Hohe Vertrauensbasis zwischen Akteuren	Unterstützend: vereinfacht Zusammenarbeit	*Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Zusammenarbeit und Netzwerkbildung zwischen Akteuren für Anpassungen der Infrastrukturen (z.B. Unity Media und Stadtwerke).
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): politische Unterstützung	Unterstützend: Wohnsiedlung und Heizsystem wurde politisch unterstützt	
#5: Einweihung der ersten vier Häuser (14. Februar 2014)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* politisches Interesse und Unterstützung für die Anlage	Unterstützend: Wohnsiedlung und Heizsystem wurde politisch und öffentlichkeitswirksam unterstützt	*Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Medienstarke Einweihung und Positionierung als Lösung mit Beispielcharakter. *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* Anbindung an politische Interessen, z.B. der Bezirksregierung, Stadt/Bürgermeisterin, Land NRW.
Heutiger Stand (2017)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* Nachfrage nach Serverkapazitäten	Unterstützend/hemmend: momentane Einschränkung des Einbaus von weiteren Serverabwärmeanlagen durch begrenzte Nachfrage nach Serverkapazitäten	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ):* Aufnahme von Serverabwärmenutzung zur Wärmegewinnung in das Portfolio um Wohnsiedlungen zu planen und umzusetzen *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Zusammenarbeit und Kooperation für weitere Projekte zwischen WIM und Cloud&Heat und zwischen WIM und Bezirksregierung und der Stadt.
	Institutionelle Faktoren: Datenschutz ist gewährleistet	Unterstützend: Cloud&Heat-Kunden müssen nicht um Datenschutz banken	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Lokale technische Entwicklungen: Wenige technische Serverausfälle	Unterstützend: zeigt die Leistungsfähigkeit der Technik	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ):* Wartung der Anlage durch Cloud&Heat und WIM gewährleistet.

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Entwicklungspfad kamen unterschiedliche Entwicklungsfaktoren zum Tragen, welche unterstützend und/oder hemmend auf die einzelnen Entwicklungsmomente gewirkt haben. Vor allem der marktwirtschaftliche Pioniergeist sowohl der Projektentwickler WIM als auch von Cloud&Heat haben die Geburt und Umsetzung der Idee, Serverabwärmeanlagen in der geplanten Wohnsiedlung in Hamm zu installieren, ermöglicht. Die bestehenden Planungen zur Wohnsiedlung vereinfachten die Anbindung der Kopplung in ein konkretes Projekt, für welches unter anderem bereits die Baugenehmigungen eingeholt waren. Die Förderung durch Landesprogramme haben die Finanzierung ermöglicht.

Sozio-kulturelle Faktoren wirken unterstützend über den gesamten Entwicklungspfad hinweg. Insbesondere der marktwirtschaftliche Pioniergeist der WIM wirkte als wesentlicher unterstützender Einflussfaktor auf den gesamten Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in der Wohnsiedlung. Die WIM war explizit daran interessiert, umweltfreundliche Innovationen zu fördern und hatten durch diese Unternehmenskultur die Möglichkeit von ‚business-as-usual' abzuweichen. Dieser Pioniergeist ist in der Geburt der Leitidee erkennbar, aber auch in der späteren Bereitschaft, die längeren Amortisierungszeiten zu tragen. Die Möglichkeit der Serverabwärmenutzung wurde durch den Pioniergeist von Cloud&Heat gefördert – das Unternehmen wurde von Akteuren aus der Forschung gegründet, um die patentierte Technik zur Beheizung von Gebäuden mit Serverabwärme weiter zu entwickeln und auf dem Markt verfügbar zu machen.

Diese Ambitionen sind auch im weiteren gesellschaftlichen Umwelt zu sehen – in diesem steigt sowohl die Nachfrage nach Serverkapazitäten als auch nach nachhaltiger Energieversorgung. In diesem Zusammenhang ist politische Unterstützung für umweltfreundliche Energielösungen ein weiterer wesentlicher sozio-kultureller Faktor. Beispielsweise wurde die Einweihung der Wohnanlage durch die Teilnahme von Landes- und Lokalpolitikern öffentlichkeitswirksam politisch unterstützt. Dies steht unter anderem im Kontext des umweltpolitischen Engagement in Hamm: Die Stadt setzte beispielsweise von 1992 bis 2002 das Modellprojekt „Ökologische Stadt der Zukunft" des Landes NRW um. Die Bürgermeisterin betonte den Beitrag der Anlage in der Wohnsiedlung zu den übergreifenden Umweltzielen der Stadt. Hemmend auf einen weiteren Ausbau von Serverabwärmeanlagen wirkt zum heutigen Stand jedoch die begrenzte Nachfrage nach Serverkapazitäten. Die Nachfrage ist notwendig, um ausreichend Abwärme durch Serververwendung zu produzieren.

Die politische Unterstützung spiegelt sich auch in den *Anreizen und Regulierungen* wieder, welche die Installation der Serverabwärmeanlage maßgeblich finanziell unterstützt haben. Im breiteren Kontext wirken zum Beispiel die Energieeinsparverordnung des Bundes und die Förderung für energieeffizientes Bauen um den zulässigen Energiebedarf von neu errichteten Wohn- und Nichtwohngebäuden stark zu begrenzen. Für den Bau der Wohnsiedlung wurde vor allem vom Land NRW finanzielle Unterstützung bereitgestellt: Die NRW.Bank hat im Rahmen des Programmes „Förderung von Mietwohnraum – Mietwohnungen Neubau" Fördergelder bewilligt. Mit diesem Programm wurde insbesondere Mietraum für Familien mit Kindern gefördert – somit wurde die Bedingung gestellt, dass bezahlbarer Wohnraum für eben diese Gruppe verfügbar gemacht wird. Hierdurch ist die Stadt Hamm an der Auswahl der Bewohnerinnen und Bewohner beteiligt. Die durch die Serverabwärmeanlagen entstandenen Mehrkosten konnten durch Fördermittel des NRW Umweltministeriums aus einem Vorläuferprogramm von progres.nrw finanziert werden.

Lokale technische Entwicklungen treten insbesondere zu Beginn des Entwicklungspfades unterstützend auf. Für die Geburt der Leitidee war entscheidend, dass Pläne für die Wohnbausiedlung in der Stefanstraße in Hamm bereits bestanden und somit das Potential boten um die Serverabwärmeanlage in diese zu integrieren. Der Einbau der Serverabwärmeanlage bedurfte zwar technischer Anpassungen und stellte somit einen Mehraufwand dar, die Anpassungen konnten allerdings verhältnismäßig problemlos

umgesetzt werden, auch aufgrund der lokalen Verfügbarkeit der notwendigen Technik für den Bau. Auch heute zeigt sich die Technik mit wenigen Serverausfällen als leistungsfähig.
Die Verfügbarkeit der notwendigen Technik steht in engem Zusammenhang mit *gesellschaftlichen Metafaktoren*. Durch breitere technische Entwicklungen war zum Zeitpunkt der Entwicklung der Serverabwärmenutzung in der Wohnsiedlung in Hamm diese Technik bereits als Nischeninnovation entwickelt. Dies wurde insbesondere durch Entwicklungen um IKT und Servernutzung befördert – diese machten einerseits den Einsatz von Servern (ökonomisch) attraktiv. Die steigende Leistungsfähigkeit servergestützter Datennetze, starke Preissenkungen für die nötige Hardware und die generelle Akzeptanz der Digitalisierung von Daten führten zu einem wachsenden Markt für Server. Dies beförderte wiederum die Weiterentwicklung der Systeme – auch für den Umgang mit Serverabwärme beziehungsweise diese nutzbar zu machen.
Institutionelle Faktoren wirkten im Entwicklungspfad einerseits unterstützend auf die marktwirtschaftlichen und rechtlichen Strukturen für die Entwicklung und Installation der Serverabwärmeanlage. Beispielsweise konnte die Firma Cloud&Heat mit neuen Investitionsmechanismen – bereitgestellt durch die Crowdfunding-Plattform „seedmatch“ – mit Startkapital versorgt werden. Auch die Sicherstellung der Baugenehmigung für die Wohnsiedlung verlief problemlos – diese war bereits vor dem Einbau der Serverabwärmeanlage erteilt und wirkte sich nicht auf diese aus. Andererseits wirkten institutionelle Faktoren unterstützend auf die Kooperationen von Akteuren, welche innerhalb des Entwicklungspfades notwendig wurden. Es bestanden beispielsweise gute Kontakte zwischen der WIM und Heizungsmonteuren und es bestand eine gute Vertrauensbasis zu den Stadtwerken.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

In diesem Abschnitt fokussieren wir uns auf die Akteure und deren Handlungen, durch welche die Akteure den Entwicklungspfad der Serverabwärmeanlage in Hamm vorangetrieben haben. Dies ermöglicht es herauszustellen, wie Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind, und zeigt bestehende Herausforderungen auf.
Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die an dem Entwicklungspfad beteiligten Akteure und deren Rollen. Die WIM war als Projektentwickler der Wohnsiedlung in Hamm der zentrale Akteur. Das Immobilienunternehmen hat die Idee entwickelt, die Serverabwärmeanlage in die bestehenden Pläne zu integrieren und übernahm die Verantwortung für die Investition und Kosten. Cloud&Heat war ein weiterer zentraler Akteur als Bereitsteller der Serverkapazitäten und Serverschränke. Es hat sich stark an der Konzeptentwicklung und Umsetzung beteiligt und übernimmt außerdem die technischen Wartungsarbeiten. Es handelt sich um eine Firma, die gleichzeitige Energieversorger und Cloud-Anbieter ist. Für die Finanzierung und rechtlichen Bedingungen waren insbesondere das Land NRW, die Bezirksregierung Arnsberg und die Stadt Hamm beteiligt. In dem Bau kam es außerdem zu Kooperationen mit verschiedenen Akteuren, wie den Stadtwerken, Heizungsmonteuren und Unity Media.

Tabelle 7: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad der Serverabwärmenutzung in Hamm

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Wilzcek Immobilien Management	Lokal	Markt	Projektentwicklung Wohnsiedlung; Initialisierung der Integration von

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
			Serverabwärme; Planung, Bau und Instandhaltung
Cloud&Heat (vormals AoTerra GmbH)	Lokal	Markt	Bereitsteller von Serverkapazitäten und Technik zur Serverabwärmenutzung sowie entstehender Wärme; technische Wartung
Stadt Hamm	Lokal		Abwicklung der Landesförderprogramm; Beteiligung an Auswahl der Bewohnerinnen und Bewohner; umweltpolitische Zielsetzungen in Hamm
Bezirksregierung Arnsberg	Regional	Öffentliche Hand	Bewilligung und Abwicklung Förderprogramm progres.nrw
NRW.Bank	Regional	Öffentliche Hand	Finanzierung durch Programm „Förderung von Mietwohnraum – Mietwohnungen Neubau“
Umweltministerium NRW	Regional	Öffentliche Hand	Finanzierung durch Vorläuferprogramm progres.nrw
Stadtwerke Hamm	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (quasi-öffentlich)	Errichteten eine extra Trafostation um den Strom für die Server zu garantieren
Heizungsmonteure	-	Markt	Einbau der Heizungen als ‚kein Produkt von der Stange’; Kooperation in Projektierung, Planung und Bauleitung
Unity Media	National	Markt	Als großer deutscher Kabelnetzbetreiber zuständig für Gebiet Hamm; hat das Glasfaserkabelnetz extra ausgebaut.
Bewohnerinnen und Bewohner der Wohnsiedlung	Lokal	Gemeinschaft (‚community’)	Bewohnerinnen und Bewohner

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen zeigen sich in der Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung, der Anbindung der Innovation an den Kontext und Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation. Durch diese Handlungen haben insbesondere Akteure der WIM und von Cloud&Heat die Serverabwärmeanlage in der Wohnsiedlung in Hamm entwickelt und umgesetzt, erhöhen die Sichtbarkeit der Anlage und ihre Anwendungen und stellen die langfristige Funktionsweise durch institutionelle Strukturen zur Wartung sicher.

Handlungen zur *Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung* kamen insbesondere zu Beginn des Entwicklungspfades zum Tragen und führten zu der Ausarbeitung der Leitidee und des Umsetzungskonzeptes für die Serverabwärmeanlage. Akteure der WIM konnten auf den marktwirtschaftlichen Pioniergeist des Unternehmens zurückzugreifen. Einerseits haben sie sich proaktiv über neuartige Technologien informiert – durch die Lektüre von Fachzeitschriften wurden sie auf die Möglichkeit der Serverabwärmenutzung aufmerksam. Andererseits bestand innerhalb des Unternehmens Raum zur Aufnahme von innovativen Ideen um Wohnbauprojekte umweltfreundlicher zu gestalten. Auch Akteure von Cloud&Heat zeigten Pioniergeist um Innovationen zu entwickeln: Das Unternehmen wurde von Akteuren aus der Forschung gegründet, um Serverabwärme zur Beheizung von Gebäuden mit Serverabwärme verfügbar zu machen. Für die Unternehmensgründung konnten sie unter anderem neue Finanzierungsmöglichkeiten wie Crowdfunding nutzen. Wesentlich für die Entwicklung der Innovation war die Ausarbeitung eines Umsetzungs- und Finanzierungskonzeptes, wodurch auch der Bebauungsplan für die Wohnsiedlung angepasst wurde. Auch hier kam wieder der Pioniergeist der WIM zum Tragen: Das Unternehmen hat neue Finanzierungsmöglichkeiten geschaffen und war bereit die längere Amortisierung zu tragen.

Die Serverabwärmeanlage wurde in verschiedenen Ausprägungen *an den Kontext angebunden*. Zunächst wurde die Wartung der Anlage institutionell geregelt – sowohl die WIM als auch Cloud&Heat übernehmen hierbei Verantwortlichkeiten. Darüber hinaus hat WIM die Anlage als Möglichkeit zur umweltfreundlichen Wärmeversorgung in ihre Planungsprozesse für Wohnsiedlungen aufgenommen und in anderen Wohnsiedlungen umgesetzt. Weitere Umsetzungen sind derzeit jedoch beschränkt, da erst ausreichend Serverkapazität angefragt werden muss.

Zur *Stärkung der Sichtbarkeit* der Serverabwärmeanlage wurden verschiedene Handlungen durchgeführt. Die Technik als solche wurde bereits vor der Umsetzung in Hamm in Zeitungsartikeln kommuniziert – hierdurch ist die WIM auf diese Möglichkeit zur Wärmeversorung aufmerksam geworden. Die Anlage in Hamm wurde im Rahmen einer medienstarken Einweihung und durch politische Unterstützung und Positionierung als Lösung mit Beispielcharakter kommuniziert. Dies stärkt einerseits die lokalpolitische Anbindung, andererseits trägt es auch zu einem breiteren gesellschaftlichen Bekanntheitsgrad für Serverabwärmenutzung bei.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen zeigen sich in strategischer Richtungssetzung, skalen- und ressourcenübergreifenden Meditation und dem Setzen von Rahmenbedingungen um Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren. Durch diese Handlungen wurde die Serverabwärmeanlage an politische Strategien angebunden, politische Rahmenbedingungen für die Finanzierung der Anlage konnten nutzbar gemacht werden und Akteure wurden miteinander in Verbindung gebracht um die Anlage zu entwickeln und umzusetzen und für weitere Projekte zusammenzuarbeiten.

Es fanden nur wenige Handlungen zur *strategischen Richtungssetzungen* statt. Die Serverabwärmeanlage wurde an lokale und landespolitische Interessen angebunden um finanzielle Unterstützung zu gewinnen. Bei der Einweihung betonte die Bürgermeisterin den Zusammenhang

zwischen dem neuen Heizsystem und den Ambitionen der Stadt Hamm eine ökologische Stadt der Zukunft zu werden. Auch die strategische Ausrichtung von WIM, umweltfreundliche Innovationen und das Experimentieren mit diesen zu ermöglichen, kann als eine unternehmerische strategische Richtungssetzung erachtet werden.
Im Verlauf des Entwicklungspfades kam es zu vielzähligen Handlungen zur s*kalen- und ressortübergreifenden Mediation* zwischen verschiedenen an den Planungen, der Finanzierung und am Bau beteiligten Akteuren. Zunächst setzten sich Akteure der WIM mit Cloud&Heat in Verbindung, um die neue Technik in die Bebauungspläne für die Wohnsiedlung zu integrieren. Die Zusammenarbeit resultierte in längerfristige Kooperationen auch für andere Wohnprojekte. In den Planungen und für den Bau wurden weitere Akteure eingebunden – wie die Stadtwerke, Heizungsmonteure und der deutsche Kabelnetzbetreiber Unity Media – um die nötige Technik zu installieren. Es konnte hierbei unter anderem auf eine gute Vertrauensbasis zurückgegriffen werden. Außerdem zogen alle Akteure einen Mehrwert im Sinne von höheren Gewinnen aus der Kooperation. Zusätzlich trat die WIM mit dem Wohnungsförderungsamt der Stadt Hamm in Verbindung um ein Finanzierungskonzept zu erstellen. Die WIM kooperierte auch mit der Bezirksregierung in der Finanzierung, was zu längerfristigen Beziehungen führte. Mit der Stadt kooperiert die WIM dahingehend, wer in die Wohnsiedlung einziehen darf.
Das *Setzen von Rahmenbedingungen* für die Installation der Serverabwärmeanlage in der Wohnsiedlung war durch die Bereitstellung von finanziellen Ressourcen durch das Land NRW gegeben. Dieses stellte sowohl das Programm zur Förderung von bezahlbarem Wohnraum für Familien sowie der Serverabwärmeanlage zur Verfügung. Für Ersteres musste das Finanzierungskonzept an die NRW.Bank zur Bewilligung der Fördergelder vorgelegt werden. Dieses Programm gibt auch Auflagen vor hinsichtlich der möglichen Bewohnerinnen und Bewohner. Basierend auf den Erfahrungen aus dem letzteren Programm entwickelte die Bezirksregierung das Programm progres.nrw, um derartige Anlagen weiter zu fördern. Trotz der finanziellen Mittel musst die WIM längere Amortisierungszeiten in Kauf nehmen.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Serverabwärmeanlage durch ihren Entwicklungspfad zu einer Nachhaltigkeitstransformation beiträgt. Durch die funktionalen und geographischen Systemgrenzen ist die Frage nach einer Nachhaltigkeitstransformation auf die Energieversorgung in der Stadt Hamm begrenzt. Wir beschreiben einerseits den Beitrag der Serverabwärmeanlage zu Nachhaltigkeit und andererseits das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Anlage.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Serverabwärmeanlage wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.
Das Ziel der Serverabwärmeanlage in Hamm war es Serverabwärme für die Erwärmung von Räumen oder Wasser zu nutzen und einen Betrag zur Kühlung von Servern zu leisten. Dieses Ziel wurde erreicht: Die Serverabwärmeanlage ermöglicht die Bereitstellung von Wärme durch Serverabwärme und schützt gleichzeitig Server vor Überhitzung. Sogar Wassertemperaturen von bis zu 70 Grad Celsius sind garantiert, was die Leistungsfähigkeit unterstreicht. Die Serverabwärmeanlagen haben eine Energieleistung von 4kW (Bezirksregierung Arnsberg 2014) beziehungsweise 3,6kW (Cloud&Heat 2014). Lediglich im Sommer wird überschüssige Wärme über einen Lüfter im Hausdach abgelassen.

Spitzenwerte beim Warmwasserbedarf können durch einen Heizstab im Pufferspeicher ausgeglichen werden (Bezirksregierung Arnsberg 2014). Die Anlage konnte gut umgesetzt werden – sie besteht aus einem Wärmetauscher, welcher die Wärme der Server an eine Wärmepumpe abgibt und die mit einem Pufferspeicher kombiniert ist. Die Server von Cloud&Heat wurden in den zu beheizenden Wohneinheiten installiert und werden über das Internet zu einem virtuellen Rechenzentrum zusammengeschaltet. Es gab aber den Bedarf verschiedener technischer Anpassungen. Beispielsweise musste die Infrastruktur im Bereich Datenversorgung und Stromversorgung angepasst werden. Ein Glasfaserkabelnetz war notwendig um schnelle Datenversorgung zu gewährleisten. Das Glasfaserkabel darf aufgrund von Datensicherheit für den Mieter nicht frei zugänglich sein. Darüber hinaus muss das Haus nach bestimmten baulichen Standards gebaut sein, mit einer effektiven Isolierung ausgestattet sein (genauer dem KfW-60-Standard) und über eine Breitband-Internetanbindung mit 50 MBit/s Minimum ans Internet angebunden sein (Energiesparhaushalt.de o.J.). Die Leistungsfähigkeit der Anlage wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Gute technische Verfügbarkeit von Serverabwärmeanlagen und notwendigen technischen Komponenten (zum Beispiel Glasfasernetz).
- Gute Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren, die für den Einbau der technischen Komponenten nötig waren (zum Beispiel Heizungsmonteure, Stadtwerke Hamm).
- Gesellschaftliche Nachfrage nach Serverkapazität fördert die Entwicklung der Technik auch zur Kühlung von Servern.
- Bestehende Planungen zur Wohnsiedlung ermöglichten die einfache Anbindung der Idee zur Serverabwärmenutzung.

Die Serverabwärmeanlage stellt Wärme und Warmwasser garantiert für die nächsten 15 Jahre kostenfrei zur Verfügung. Zwar erhöht die Anlage die Investitionssumme für die Projektentwickler, die Kosten werden allerdings nicht auf die Kunden übertragen. Durch die Anlagen können die Bewohnerinnen und Bewohner Wärme wie gewohnt nutzen. Sie merken den Unterschied mit konventioneller Heizungstechnik generell nicht – außer dass ein Serverschrank herumsteht. Die Rechnereinheiten sind geräuscharm. Dementsprechend erfordert die Kopplung die Sicherstellung des Datenschutzes. Daten sind nicht einfach auslesbar – es gibt ein mehrfach redundantes Sicherheitssystem. Die soziale und ökonomische Verträglichkeit wurde von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Finanzielle Förderung durch Landesmittel.
- Die Bereitschaft der WIM die längeren Amortisierungszeiten zu tragen.

Die Anlage hat positive Beiträge auf Ressourcen und Umwelt. Durch die Nutzung von Serverwärme als alternative Energiequelle werden einerseits fossile Energieträger ersetzt und CO_2-Emissionen eingespart. Andererseits wird ein Beitrag zur Ressourceneffizienz geleistet, da Serverabwärme sonst verloren geht. Es wird im Grunde genommen weniger Energie verwendet: Die Server arbeiten sowieso (ob in Häusern oder in einer Halle) und durch die Anlage werden noch Häuser beheizt. Die Energie, die aufgewendet würde um die Rechner in einer Halle zu kühlen, fällt auch weg. Man spart doppelt. Es wird von Einsparungen von 6,2 Tonnen CO_2 pro Server ausgegangen (Cloud&Heat 2014). Die Beiträge auf Ressourcenschonung und -effizienz werden durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Gute Verfügbarkeit der entsprechenden Technologien.

Die Versorgung mit Wärme aus der Anlage kann verhältnismäßig sicher geleistet werden. Es gibt ein redundantes System, welches die Versorgungssicherheit sicherstellt. Auch tragen bisher nur wenige Wartungsarbeiten auf. Die Schränke haben eine komplett eigene Leistung und Kabelführung. Außerdem

trägt die Anlage zu lokaler Energieunabhängigkeit bei. Die weiteren Installationen von Serverabwärmeanlagen bedürfen allerdings einer ausreichenden Nachfrage nach Serverkapazität. Die Versorgungssicherheit wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Die Nachfrage nach Serverkapazität stellt die Versorgung durch Serverabwärme sicher. Derzeit gibt es allerdings nicht ausreichend Nachfrage (bei Cloud&Heat) um weitere Anlagen zu installieren.
- Redundante Sicherheitssysteme zur Versorgung von Wärme und zum Datenschutz. Falls der Server ausfallen sollte, springt eine Wärmepumpe zur Nutzung der Warmluft ein, und falls diese ausfallen sollte ein Heizstab. Diese produzieren sowohl Wärme als auch Warmwasser.
- Lokale Verfügbarkeit von Serverabwärme.
- Die Wartung der Anlage ist institutionell geregelt und somit sichergestellt.

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das Transformative Potential und die Transformative Wirkung der Serverabwärmeanlage sind daran festzumachen, inwieweit durch die Anlage das dominante Regime der Energieversorgung in der Stadt Hamm in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird beziehungsweise werden kann. Die Anlage weist das Potential auf, durch die Erzeugung von Wärme aus Serverabwärme an einer veränderten Nutzung von Serverabwärme beizutragen, wodurch diese als neuer Energieträger für Wärme – im Fall von Hamm insbesondere anstatt von Gas – positioniert wird. Darüber hinaus ermöglicht die Anlage in Hamm bezahlbaren Wohnraum für Familien sowie keine Wärmekosten für 15 Jahre. Die Kopplung kann so an einer nachhaltige(re)n Energieversorgung und -nutzung in Hamm beitragen. Darüber hinaus trägt die Kopplung zu einer verbesserten Kühlung von Servern bei.

Das Potential der Serverabwärmeanlage wurde durch die technische Umsetzung und institutionelle und organisatorische Verankerung weitestgehend in Transformative Wirkungen umgesetzt. Die Transformativen Wirkungen der Serverabwärmeanlage zeigen sich wie folgt:

- Serverabwärme geht nicht mehr verloren, sondern wird durch technische Strukturen in der Wohnsiedlung in Hamm zur Erzeugung von Wärme und Warmwasser verwendet. Die Kopplung trägt auch zu einer verbesserten Serverkühlung bei.
- Neue organisatorische Strukturen – zum Beispiel zur Wartung der Serverabwärmeanlage und zur Sicherstellung des Datenschutzes.
- Die Kopplung eröffnet neue Marktoptionen für Unternehmen – beispielsweise für die Anbieter von Serverkapazitäten, Serverabwärme zu vermarkten.
- Neue Kontakte und Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren – beispielsweise zwischen der WIM und Cloud&Heat sowie zwischen WIM und der Bezirksregierung.

Es bestehen allerdings einige Grenzen und Herausforderungen bezüglich des Transformativen Potentials und der Transformativen Wirkung der Serverabwärmeanlage:

- Die Häuser müssen nach bestimmten baulichen Standards gebaut, mit einer effektiven Isolierung ausgestattet sein (genauer dem KfW-60-Standard) und über eine Breitband-Internetanbindung mit 50 MBit/s Minimum ans Internet angebunden sein.
- Die Innovation bezieht sich nur auf die Angebotsseite des Wärmeversorgungssystems und allein auf technische Innovation. Sie hinterfragt nicht die Energieeffizienz und das Nutzungsverhalten (zum Beispiel Warmwasserverbrauch).
- In der Endanwendung ist eine zentrale Anlage als Nahwärmezentrum oder in Mehrfamilienhäusern die geschicktere Anwendung. Dann hält sich der technische Aufwand im

Rahmen sowie Eingrenzen von Fehlerquellen. Dementsprechend sind die Anlagen nicht alltagstauglich für den Normalverbraucher – vor allem wegen der Schaffung der Infrastruktur. Es ist einfacher, zehn Serverschränke nebeneinanderzustellen, oder in einer Baumaßnahme mit zehn Häusern nebeneinander – wie in der Wohnsiedlung in der Stefanstraße.

- Ein weiterer Ausbau ist davon abhängig wie schnell Cloud&Heat Rechenkapazitäten vermieten können. Die Konkurrenz auf dem Markt ist groß durch die konventionellen Vermarkter von Speicher und Rechenleistung. Je größer die Auslastung der Rechenkapazitäten desto mehr Abwärme wird produziert.

5 Fazit

Die Fallstudie zur Serverabwärmeanlage in der Wohnsiedlung in Hamm bietet Einsichten in einen Entwicklungspfad, bei dem die Idee zur Serverabwärmenutzung an bestehende Pläne für eine Wohnsiedlung angebunden werden konnte, und in dem marktwirtschaftlicher Pioniergeist maßgeblich die Umsetzung unterstützt hat. Die Planung der Wohnsiedlung sowie die Technik zur Nutzung von Serverabwärme waren bereits fortgeschritten – die Verbindung zwischen beiden hatte den Mehrwert, sowohl bezahlbaren Wohnraum für Familien mit Kindern und nachhaltige und kostenfreie Wärme verfügbar zu machen sowie einen Beitrag zur Lösung des Problems der Serverkühlung zu leisten.
Der marktwirtschaftliche Pioniergeist sowohl der Projektentwickler WIM als auch von Cloud&Heat, dem Bereitsteller von Serverkapazitäten und Serverabwärme, haben den Entwicklungspfad maßgeblich geleitet. Durch die Bestrebungen, umweltfreundliche Innovationen zu fördern und sich über diese proaktiv zu informieren, sind Akteure der WIM auf die Möglichkeit der Serverabwärmenutzung aufmerksam geworden und konnten diese an die bestehenden Planungen für eine Wohnsiedlung anbinden. Der Entwicklungspfad ist außerdem von guten Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren geprägt. Diese ermöglichten die Planungen, den Bau und die Finanzierung. Vor allem die Förderungen durch Landesprogramme haben die Finanzierung ermöglicht. Es scheinen keine großen institutionellen Herausforderungen und Hürden bestanden zu haben – die Baugenehmigung wurde unabhängig von der Serverabwärmeanlage eingeholt, der Datenschutz konnte gesichert werden und die WIM kooperiert mit der Stadt Hamm um die Auflagen hinsichtlich der Bewohnerinnen und Bewohner zu erfüllen.
Die Serverabwärmeanlage leitet einen positiven Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Die Technik hat sich als gut umsetzbar erwiesen – obwohl sie verschiedene technische Anpassungen und die Überarbeitung der Baupläne erforderte. Durch die Förderprogramme und die Bereitschaft der WIM, die längeren Amortisierungszeiten zu tragen, kann die Wärme einfach, sicher und günstig an die Bewohnerinnen und Bewohner geliefert werden. Vor allem die Förderung im Rahmen eines NRW-Programmes um bezahlbaren Wohnraum für Familien mit zwei bis drei Kindern zu schaffen ist hierbei interessant. Die Anlage trägt zu Ressourceneffizienz und Klimaschutz bei, da Serverabwärme nicht mehr verloren geht, fossile Wärmeträger wie Gas ersetzt werden und ein Beitrag zur Lösung von Serverüberhitzung geleistet wird.
Die Technik zur Serverabwärmenutzung war zum Zeitpunkt der Entwicklung der Anlage in der Wohnsiedlung in Hamm bereits als breitere Nischeninnovation entwickelt. Die Neuheit bei dieser Umsetzung in Hamm war die Realisierung dieser Anlagen in Einfamilienhäusern – davor gab es hierfür nur einen Prototyp. Die WIM arbeitet daran, derartige Anlagen auch in weiteren Wohnprojekten umzusetzen. Allerdings ist der Ausbau durch die Nachfrage an Serverkapazität begrenzt. Weitere Einschränkungen für die Technologie bestehen dahingehend, dass sich in der Endanwendung eine zentrale Anlage als Nahwärmezentrum oder in Mehrfamilienhäusern als geschickter erwiesen hat. Dann halten sich der technische Aufwand im Rahmen und Fehlerquellen können besser eingegrenzt werden: Es

ist einfacher, zehn Serverschränke nebeneinanderzustellen, oder in einer Baumaßnahme mit zehn Häusern nebeneinander – wie in der Wohnsiedlung in der Stefanstraße – als eine dezentrale Installation in einzelnen Gebäuden oder Wohnungen.
Während sich die Serverabwärmeanlage in der Wohnsiedlung als funktionstüchtig erwiesen hat, finden Überlegungen, die serverseitig freigesetzte Abwärme für die Beheizung von Gebäuden zu nutzen, bisher keine weit verbreitete Resonanz. Gründe hierfür können unter anderem eine fehlende Übereinstimmung zwischen Zeitpunkt und Menge des Abwärmeangebotes und der Wärmenachfrage, fehlende Standards bezüglich der Kopplung der Systeme, fehlende Anwendungsfällen aufgrund der räumlichen Lage von Rechenzentren, unzureichende Leistungsfähigkeit überörtlicher Datenleitungen, die einem Zusammenschalten von Einzelservern zu Cloudlösungen entgegen steht, sowie eigentums- und verwaltungsrechtliche Hemmnisse für die Konzeption öffentlicher und gewerblich genutzter Gebäude liegen.

6 Quellenverzeichnis

Bezirksregierung Arnsberg (2014): Einweihung in Hamm. Abwärme von Computerservern beheizt Wohnhäuser. http://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/presse/2014/02/034_14/index.php. Aufgerufen am: 01.11.2017.

Bezirksregierung Arnsberg (2017): Förderprogramm progres.nrw. https://www.bezreg-arnsberg.nrw.de/themen/f/foerderpro_progres_nrw/index.php. Aufgerufen am: 01.11.2017.

Cloud&Heat (2014): Energy Awards 2014: Nominiert in der Kategorie „Energie – Startup“. http://energyawards.handelsblatt.com/fileadmin/upload/Finalisten/2014/Dossier_-_2014_-_Cloud___Heat_Technologies.pdf. Aufgerufen am: 01.11.2017.

Cloud&Heat (2014): About us. https://www.cloudandheat.com/en/about-us. Aufgerufen am: 01.11.2017.

Energiesparhaushalt.de (ohne Jahr): Intelligent Heizen durch Server-Abwärme. http://www.energiesparhaushalt.de/1/intelligent-heizen-durch-server-abwaerme.html. Aufgerufen am: 01.11.2017.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Stadt Hamm (2002): 10 Jahre Öko-Stadt Hamm. Projekte, Maßnahmen und Aktionen. Stadt Hamm. https://www.hamm.de/fileadmin/user_upload/Medienarchiv/Klimaschutz/10_J_Oekostadt.pdf. Aufgerufen am: 01.11.2017.

WA, Westfälische Anzeiger (2010): Neubaupläne für Brachfläche; WA; 20.10.2010; http://www.wilczek-immobilien.de/wp-content/uploads/2016/10/Westf%C3%A4lischer-Anzeiger-Hamm-Stefanstr.-20.10.2010.pdf. Aufgerufen am: 01.11.2017.

WA (2011): Miethäuser für Familien sollen gebaut werden. http://www.wilczek-immobilien.de/wp-content/uploads/2016/10/Westf%C3%A4lischer-Anzeiger-Hamm-Stefanstr.-30.11.2011.pdf. Aufgerufen am: 01.11.2017.

WA (2012): Bauplatz für 36 Einfamilien-Miethäuser. http://www.wilczek-immobilien.de/wp-content/uploads/2016/10/Westf%C3%A4lischer-Anzeiger-Hamm-Stefanstr.-06.03.2012.pdf. Aufgerufen am: 01.11.2017.

WA (2014): Neubauten an der Stefanstraße eingeweiht. https://www.wa.de/hamm/neubauten-stefanstrasse-eingeweiht-3370214.html. Aufgerufen am: 01.11.2017.

WIM, Wilczek Immobilien Management (2014): Wohnen: Heizungswärme aus der Cloud.http://www.wilczek-immobilien.de/wp-content/uploads/2016/10/F%C3%B6rdermagazin-der-NRW.BANK-03.04.2014.pdf. Aufgerufen am: 01.11.2017.

5. Wohnen und Elektromobilität im Rosensteinviertel in Stuttgart

Autorinnen und Autoren: Moritz Müller[1], Katharina Hölscher[1], Alfred Olfert[3], Jörg Walther[4]

[1] Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
[2] Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus-Senftenberg
[3] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden

1 Einleitung

Seit Dezember 2012 projektiert die Siedlungswerk GmbH im Stuttgarter Rosensteinviertel das Wohnbauvorhaben „Wohnen und E-Mobilität“ in zwei Bauabschnitten mit zunächst 125 Wohneinheiten (im ersten Bauabschnitt), später insgesamt ca. 350 Wohneinheiten (Volpp 2014). Das Bauvorhaben nimmt am Förderungsprogram „LivingLab BWe mobil“ des Landes Baden-Württemberg teil und ist eines von vier geförderten „Schaufenster ‚Elektromobilität‘“-Projekten der Bundesrepublik Deutschland. Es soll ein modernes, urbanes Wohnbauquartier mit einem integrierten Mobilitätskonzept (Pedelecs und E-Carsharing) unter Integration regenerativer Energiequellen geschaffen werden. Neben der Demonstration der im Quartier integrierten Erzeugungs-, Nutzungs- und Speichermöglichkeiten von Energie ist auch die Lösung der vor allem in Ballungsräumen auftretenden Verkehrsproblemen (Stau) ein Ziel (das Rosensteinviertel ist in Stuttgarts Stadtmitte verortet). Weiter ist eine umweltfreundliche Neuausrichtung individueller Mobilität ein Fokus des Projektvorhabens: Nachhaltige Transporttechnologien wie Pedelecs und elektrische Autos sollen den Bewohnerinnen und Bewohnern zur Verfügung gestellt werden (Welz 2016). Die Grundsteinlegung des ersten Bauabschnitts mit 127 Wohneinheiten war Mitte 2015 (geplante Fertigstellung im Sommer 2017), der zweite Bauabschnitt mit 175 weiteren Wohneinheiten ist zur Zeit in der Planungsphase (EGS-plan 2014). Das elektromobile Carsharingsystem wurde 2016 in Kooperation mit dem Carsharing Betrieb ‚Stadtmobil‘ in Betrieb genommen. Die gewonnenen Erkenntnisse des Bauvorhabens sollen Vorbild für weitere Projekte des Siedlungswerks wie auch für andere Wohnbauprojekten in ganz Deutschland sein, da die Kopplung von Stromerzeugung und Elektromobilität zum Zeitpunkt der Planungen noch nicht weitläufig erprobt gewesen ist (Welz 2016).
Wir betrachten das Wohnbauvorhaben „Wohnen und Elektromobilität“ im Stuttgarter Rosensteinviertel zum Zeitpunkt der praktischen Umsetzung im Jahr 2012 als eine Nischeninnovation in Bezug zum bestehenden Regime der Sektoren Energieversorgung und Transport in der Stadt Stuttgart. Obwohl die Infrastrukturkopplung lokal auf das Baugrundstück im Rosensteinviertel begrenzt ist, ist es im politischen und sozialen Kontext der gesamten Stadt Stuttgart zu sehen. Durch das Vorhaben werden Stromerzeugung, Stromspeicherung und Mobilität in dem Wohnquartier gekoppelt. Die Wohnanlage wurde als technisch innovative Lösung entwickelt, um lokal produzierten regenerativen Strom direkt und weitestgehend verlustfrei für individuelle Mobilität und die Wohnanlagenbetreibung nutzbar zu machen. Mobilität wird daher nicht als externe Dienstleistung gesehen, sondern ist ein

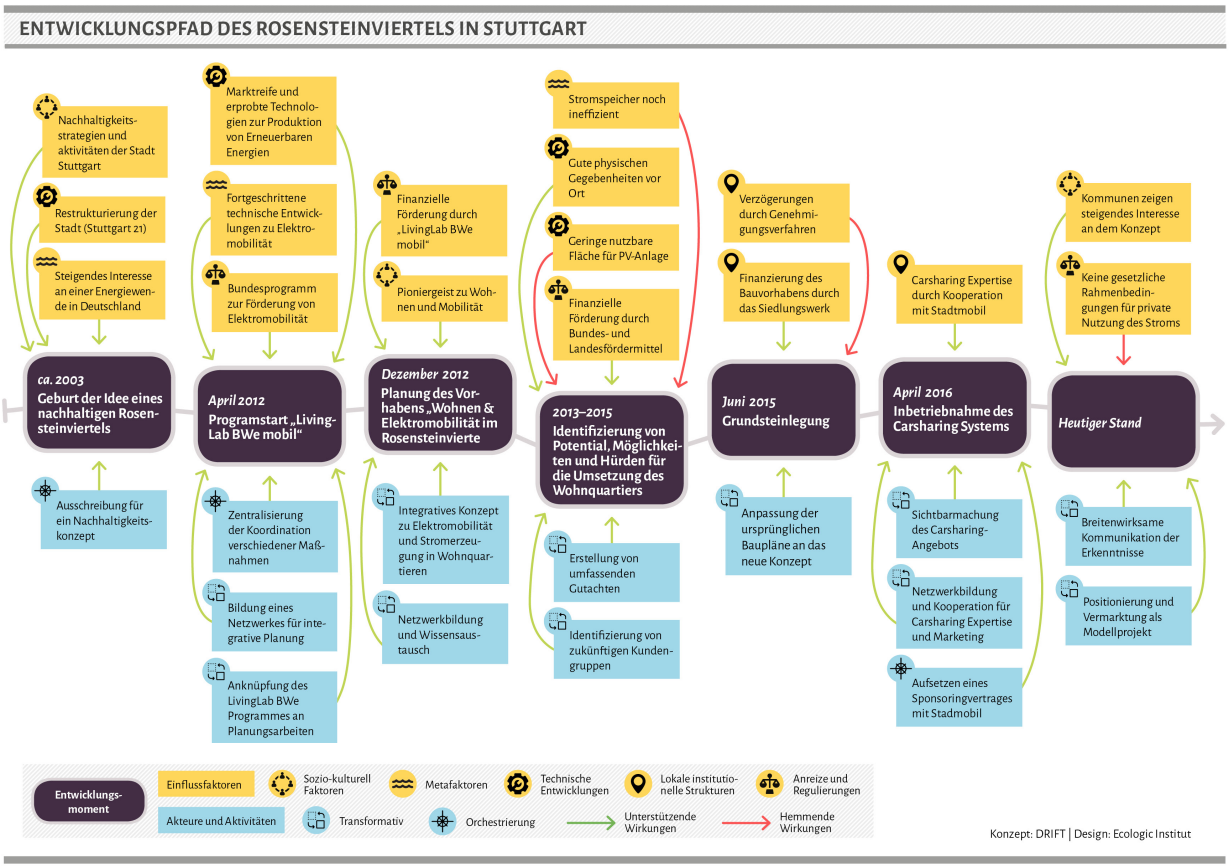
integrierter Teil eines ganzheitlichen Wohnkonzeptes und kann somit flexibel die Elektrizität von derselben Quelle beziehen, welche auch Strom zur Gebäudebetreibung produziert. Die zukünftige Wohnanlage kann dazu beitragen, Ressourcennutzung effizienter zu gestalten (zum Beispiel durch Carsharing), die Verbrennung fossiler Energieträger (Öl oder Gas) zu reduzieren, CO_2-Emissionen zu senken und die lokale Energieautarkie zu vergrößern (sowohl in der Energieerzeugung als auch in der Speicherung). Somit hat die Infrastrukturkopplung das Potential, zu einer Transformation hinsichtlich einer nachhaltigen Energieversorgung und nachhaltiger Transportmöglichkeiten auf lokaler Ebene beizutragen. Die angestoßenen Veränderungen können sowohl physischer Natur (zum Beispiel die vorhandene Energieinfrastruktur), sozialer Natur (durch geändertes Nutzerverhalten: zum Beispiel E-Carsharing anstatt von ölbetriebenen Automobilen im Privatbesitz) als auch organisatorischer Natur (zum Beispiel durch die Identifikation von möglichen Synergieeffekten einer intersektoralen Kooperation verschiedener Partner wie Forschungsinstituten, Immobiliengesellschaften, Strom- und Carsharinganbietern) sein.
Im Folgenden **beschreiben und analysieren wir den Entwicklungspfad des Wohnkonzeptes im Rosensteinviertel** von der Idee bis zum heutigen Stand. Das Vorgehen folgt dem Analyserahmen für TRAFIS AP 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf zwei Interviews mit an dem Vorhaben beteiligten Akteuren und Akteurinnen (Anhang 2.4). **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung festzustellen.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der akteursbezogenen Prozesse, um aufzuzeigen, durch welche Handlungen Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind den Entwicklungspfad vorangetrieben haben und welche Herausforderung bestehen. Darüber hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) der Wohnanlage zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit die Infrastrukturkopplung an einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann.
Wir beschreiben zunächst den **Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung** von der Idee bis zum heutigen Stand (Abschnitt 2). Hierzu benennen wir die **wesentlichen Entwicklungsmomente** innerhalb des Entwicklungspfads sowie die diese Schritte beeinflussenden Faktoren. Im nächsten Schritt analysieren wir die **Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfads**: Welche Einflussfaktoren und akteursbezogenen Prozesse wirken sich auf die Entwicklungsmomente aus (Abschnitt 3). Zuletzt beschreiben wir den erzielten **Beitrag des Wohnkonzeptes an einer Nachhaltigkeitstransformation** (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im Folgenden stellen wir den Entwicklungspfad des Wohnkonzeptes „Wohnen & E-Mobilität“ von der ersten Idee bis zum heutigen Stand der Planung und Umsetzung anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente vor (Abbildung 11). Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als Nischeninnovation in Bezug zum bestehenden Regime der Stromerzeugung und Mobilität in der Stadt Stuttgart. Aufgrund der Tatsache, dass

das Vorhaben zu diesem Zeitpunkt weitestgehend noch nicht realisiert worden ist, beziehen sich die verschiedenen Punkte hauptsächlich auf die unterschiedlichen Planungs- und Koordinierungsschritte.

Abbildung 11: Der Entwicklungspfad des Rosensteinviertels in Stuttgart



2.1 Entwicklungsmoment #1: Die Geburt der Idee eines nachhaltigen Rosensteinviertels (ca. 2003)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Seit dem Beschluss zur Realisierung des unterirdischen Durchfahrtbahnhofs „Stuttgart 21" war die Stadt auf der Suche nach einem Konzept zur Nutzung der freiwerdenden überirdischen Fläche des alten Hauptbahnhofs und der angrenzenden Stadtteilen Am Pragfriedhof, Am Rosensteinpark, Auf den Prag und Nordbahnhof. Diese sollten zusammen zum neuen, 170 ha großen Rosensteinviertel entwickelt werden (Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung 2014). Im November 2003 wurde von der Stadt Stuttgart schließlich der städtebauliche Realisierungswettbewerb „RosensteinViertel"[12] ausgeschrieben. Der Wettbewerbsausschreibung ist zu entnehmen, dass die Stadt zu diesem Zeitpunkt schon gezielt auf der Suche nach

[12] Schreibweise bei den städtischen Planungen: RosensteinViertel; Schreibweise bei den Planungen des Wohnquartiers des Siedlungswerkes: Rosensteinviertel.

Nachhaltigkeitskonzepten für das neue Viertel war: „Das RosensteinViertel ist ein Projekt, mit dem für längerfristige Fragestellungen der nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung und des ‚ökologischen Stadtumbaus' konkrete Antworten gefunden werden sollen" (Landeshauptstadt Stuttgart 2003; S. 5). Gesucht wurde ein städtebauliches Konzept, welches Bewohnerinnen und Bewohnern neuen Wohnraum im Herzen Stuttgarts auf dem Gebiet des ehemaligen Stuttgarter Hauptbahnhof bieten sollte.
Das Gewinner-Konzept des Architekturbüros Pesch & Partner hatte einen klaren Bezug zur nachhaltigen Stadtentwicklung und sah gezielt die Integration von Grünflächen und Straßenbepflanzung vor (Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung Stuttgart 2005). Das Gewinner-Konzept legte allerdings nur die städtebauliche Gesamtstruktur des zukünftigen Viertels vor, allerdings keine genauen Details, wie zum Beispiel Gebäudearchitektur oder Verkehrsinfrastruktur. Auch gezielte Nachhaltigkeitsmaßnahmen, wie beispielsweise die Integration nachhaltiger Energiequellen, wurden nicht spezifisch ausgeführt. Somit stellt dieser erste Schritt in Richtung eines nachhaltigen Rosensteinviertels zunächst eine konzeptionelle Ausführung dar, welche noch nicht die späteren Elemente zur Integration von Erneuerbaren Energien und Mobilität beinhaltet.
Die Stadt Stuttgart ist traditionell in Sachen Umwelt engagiert. Aufgrund der Lage der Stadt in einem Kesseltal hat die Stadt schon seit Jahrzehnten Kontakt mit Umweltproblematiken: Der Smog der Industrie und der Verkehrsmittel blieb oft für mehrere Tage in dem Kesseltal in und über der Stadt hängen. Schon in den 1980er Jahren hat die Stadt eine Abteilung für Klimatologie eingerichtet und hat Umweltprogramme auf den Weg gebracht (Landeshauptstadt Stuttgart 2009a). Jedoch zielten die meisten Umweltmaßnahmen meist auf Verhaltensänderungen ab, oder regulierten den Industriesektor. Bisher wurde in Stuttgart noch kein ganzer Stadtteil mit einem Nachhaltigkeitsfokus geplant. Vor der Planung des Rosensteinviertels wurden auch neue Gebäude innerhalb der Stadt durch konventionelle Energiequellen (besonders Kohle- oder Nuklearkraftwerke) mit Elektrizität und Wärme versorgt.
Stuttgart ist kulturell im Bundesland Baden-Württemberg angesiedelt, welches sich durch einen besonderen Pioniergeist auszeichnet und in Bezug auf Umwelt, Wirtschaft und Technologiefortschritt positiv eingestellt ist. Das Land ist engagiert in Sachen Energiewende; 2003 lag der Anteil an erneuerbaren Energiequellen im Strommix von Baden-Württemberg bei ca. 8% und hat sich bis zum Jahr 2012 auf 23,3% erhöht. Dies entspricht der Gesamtentwicklung im Bundesschnitt (Handelsblatt 2017, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (BW) und Statistisches Landesamt (BW) 2014).
Während Erneuerbare Energien im Rahmen der Energiewende in Deutschland bereits spätestens seit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), welches erstmals im Jahr 2000 in Kraft getreten ist, gefördert worden sind, wurde Elektromobilität zu diesem Zeitpunkt noch nicht als flächendeckende Lösung für Umweltproblematiken in Betracht gezogen, da die Technologie noch nicht weit genug ausgereift war, um mit konventionell betriebenen Autos konkurrieren zu können. Allerdings stiegen die Kraftstoffpreise für Automobile seit 2003 kontinuierlich, was zu einer verstärkten Gründungs- und ForschungsHandlung im Elektromobilität Sektor führte (Backhaus, Döther, und Heupel 2011).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Restrukturierung der Stadt: Durch die bevorstehenden weitreichenden Änderungen im Stadtbild durch das Stuttgart 21 Bauvorhaben musste ein gesamter zentraler Stadtteil neu geplant werden.
- Politisches Interesse der Stadt an umweltfreundlichen Technologien: Umweltprobleme sind durch die Kessellage der Stadt Stuttgart sichtbarer als in anderen Städten, das bedeutet Probleme sind in der Bevölkerung imminenter als in anderen Städten.
- Umweltschutz als zivilgesellschaftliches Interesse und Tradition: Erste Umweltschutzmaßnahmen gab es in Stuttgart schon im 19. Jahrhundert, als die Stadt durch die Industrialisierung schnell wuchs und die Stadt (welche in einem Kesseltal liegt) zunehmend Probleme mit Smog bekam. Durch bürgerschaftliches Engagement des Verschönerungsvereins der Waldheimbewegung christlicher Initiativen wurde die Bedeutung der umgebenen Wälder und von öffentlichen Grünanlagen den damaligen Bewohnerinnen und Bewohnern deutlich gemacht und aktiv geschützt (Landeshauptstadt Stuttgart 2009b).
- Nachhaltigkeitsstrategie und Handlungen der Stadt: Stuttgart war deutschlandweit auch die erste Stadt, welche eine eigene Abteilung für Klimatologie eingerichtet hat, um Lösungen bezüglich des Smogproblems zu finden. 1997 verabschiedete der Stuttgarter Gemeinderat das Klimaschutzkonzept „KLIKS“ welches seither konsequent weiterentwickelt und ausgeweitet wurde. So wurden unter anderem 39% der Stadtfläche unter Naturschutz gestellt (Rekord in Deutschland). Das Programm fördert die Integration moderner, naturschonender Infrastrukturen in das Stadtbild und schafft somit neue Chancen für nachhaltiges und qualitatives Wachstum und schafft neue Arbeitsplätze (Landeshauptstadt Stuttgart 2009b).
    - Akteure in der Stadtverwaltung Stuttgart entwickelten und förderten den politischen Willen, Nachhaltigkeit langfristig in die Stadtplanungsprozesse einzubinden. Zu diesen Maßnahmen zählten sowohl die Optimierung bestehender Infrastrukturen, als auch die gezielte Integration neuartiger, nachhaltigerer Technologien in das Stadtbild. Beispielsweise wurde ein Umweltbüro eingerichtet, welchen interessierten Bürgern Informationen zu Umweltfragen liefern kann (zum Beispiel Wie fährt man spritsparender?).
- (Technologischer) Pioniergeist: Stuttgart ist die Landeshauptstadt des Bundeslandes Baden-Württemberg, welches sich durch einen besonderen Pioniergeist auszeichnet und in Bezug auf Wirtschaft und Technologiefortschritt positiv eingestellt ist (e-mobil BW 2017).
- Steigendes Interesse an einer Energiewende in Deutschland: Breiteres gesellschaftliches Interesse an Umweltfragen, vor allen in Bezug auf Ölabhängigkeit, Nutzung von Atomstrom und generelle Ressourcensicherheit.
    - Global und deutschlandweit steigendes Interesse an einer Energiewende: Das Umweltabkommen von Kyoto sollte 2005 in Kraft treten und schuf Emissionsgrenzen für Nationen, welche möglichst eingehalten werden sollten.

- Tragfähige Alternativen zu umweltschädlichen Technologien: Erste vollständige Machbarkeitsstudie zum Wechsel zu einem 90-100 % nachhaltigen Energiesystem wurde 2003 veröffentlicht und zeigte, dass ein Wandel zur Nachhaltigkeit in Deutschland gut möglich ist (WGBU 2003).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Ausschreibung für ein Nachhaltigkeitskonzept zur Entwicklung des Rosensteinviertels: Die Stadtverwaltung Stuttgart verlangt bei der Neuplanung des Bahnhofsviertels gezielt nach neuartigen, nachhaltigeren Quartierskonzepten.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Programstart „LivingLab BWe mobil“ (April 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Die Stadträume Stuttgart und Karlsruhe nahmen seit April 2012 als „Schaufenster Elektromobilität“ unter Koordination der Baden-Württembergischen Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie „e-mobil BW“ unter dem Namen „LivingLab BWe mobil“ an dem nationalen Programm „Schaufenster Elektromobilität“ der Bundesregierung teil. In diesem Rahmen wurden 34 Projekte in der Region Stuttgart und der Stadt Karlsruhe gefördert und 1.900 Elektrofahrzeuge mit 1.000 Ladepunkten auf die Straßen gebracht (e-mobil BW 2017). Diese Projekte umfassten sowohl Vorhaben zur Förderung von privater Haltung von Elektrofahrzeugen, als auch geschäftlich genutzter Elektromobilität und Carsharing. Die aktive Projektphase endete am 30. Juni 2016. Mehr als 100 Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Hand waren an den verschiedenen Projekten beteiligt. Über die Entwicklung neuer Ansätze hinaus hat das Programm auch einen Bildungsauftrag wahrgenommen: In rund 600 Veranstaltungen und verschiedenen Maßnahmen wurden über 900.000 Menschen über Elektromobilität informiert. Durch das Programm wurde Elektromobilität zwar weit gefördert, der Anteil von Elektroautos in Baden-Württemberg ist aber nach wie vor niedrig: Noch im Jahr 2014 lag der Anteil an Elektroautos mit 1.144 Modellen (62 davon in Privatbesitz, der Rest in öffentlicher Hand) in der Stadt Stuttgart bei 0,4% des Gesamtfahrzeugbestandes (Schlecht 2014).
Im Rahmen des Programmes „Schaufenster Elektromobilität“ trug e-mobil BW die Idee, Elektromobilität und Wohnen zu kombinieren, an die Siedlungswerk GmbH heran, welche zu diesem Zeitpunkt unter anderem ein Wohnbauvorhaben im Rosensteinviertel plante. Das Siedlungswerk war generell an neuartigen Nachhaltigkeitskonzepten interessiert und dementsprechend bereit, in Kollaboration mit e-mobil BW herauszufinden, inwieweit es praktikabel ist, Elektromobilität in Wohnquartiere zu integrieren. Es war besonders daran interessiert, Synergieeffekte einer Kopplung von Wohnraum und Elektromobilität zu identifizieren (Welz 2017, mündlich). Daraufhin wurden verschiedene anstehende Wohnbauvorhaben des Siedlungswerkes nach passenden Möglichkeiten untersucht. Unter diesen Projekten wurde ein geplantes Wohnquartier im Rosensteinviertel als passender Kandidat ausgewählt. Zusammen mit dem Siedlungswerk bewarb sich e-mobil BW bei „Schaufenster Elektromobilität“ um die finanzielle Förderung der Wohnanlage im Rosensteinviertel. Das Wohnquartier war schon vor der Kollaboration mit e-mobil BW durch das Siedlungswerk in Planung und ein

Architektenwettbewerb war ausgeschrieben. Das Baugrundstück liegt verkehrsgünstig an der Ecke Nordbahnhofstraße/Eckartstraße im dicht besiedelten Stuttgarter Nordbahnhofsviertel und ist eines der ersten Grundstücke, welche Teil des neu entstehenden Rosensteinviertels werden sollen (siehe Entwicklungsmoment #1).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Positive Einstellung gegenüber und Förderung von Elektromobilität auf Bundesebene: Die (damalige) Bundesregierung sah positives Potential in einem Ausbau von Elektromobilitätsangeboten in Deutschland. Neue Technologiemöglichkeiten sollten erprobt werden, um sie später in einem größeren Rahmen in Deutschlands Infrastruktur zu integrieren (Backhaus et al. 2011). Der Bundestag rief 2012 das Förderprogramm „Schaufenster Elektromobilität“ ins Leben: Die Bundesregierung hat im April 2012 vier Regionen in Deutschland als „Schaufenster Elektromobilität“ ausgewählt und fördert auf Beschluss des Deutschen Bundestags die Forschung und Entwicklung von alternativen Antrieben (Schaufenster Elektromobilität 2014). Insgesamt werden vom Bund Fördermittel in Höhe von 180 Mio. € bereitgestellt. In den ausgewählten Pilotvorhaben in fünf deutschen Bundesländern (manche Regionen sind Landesgrenzen übergreifend) wird Elektromobilität an der Schnittstelle von Energiesystem, Fahrzeug und Verkehrssystem erprobt und entwickelt. Das Schaufensterprogram wird ressortübergreifend durch vier Bundesministerien geführt: das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Schaufenster Elektromobilität 2014).
- Technische Entwicklungen zu Elektromobilität relativ weit fortgeschritten: Die Technologie sowohl für elektrisch betriebene Fahrzeuge als auch für lokal produzierte und gespeicherte Energie war zu diesem Zeitpunkt bereits relativ gut verfügbar und einsatzbereit. Allerdings war sie wenig erprobt und es war nicht klar, ob diese Technologien ‚massenfähige‘ Lösungen für die Zukunft waren. Fragen umfassen insbesondere die Reichweite von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, die einhergehende Notwendigkeit Ladestationen aufzustellen sowie auch die relativ hohen Anschaffungskosten im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen (Backhaus et al. 2011).
- Marktreife und erprobte Technologien zur Produktion von Erneuerbaren Energien: Möglichkeiten regenerativer Elektrizitätsgeneration waren marktreif und konnten in flächendeckend genutzt werden. Dies wurde in Deutschland durch das 100.000-Dächer-Programm bewiesen (Photovoltaikanlagen auf privaten und geschäftlichen Gebäuden), welches 2003 nach einer erfolgreichen Testphase durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz abgelöst wurde.
- Positive Einstellung gegenüber Elektromobilität auf Bundesebene: Zunehmende Förderung von erneuerbaren Energien auf Bundesebene, beispielsweise durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Zentralisierung der Koordination verschiedener Maßnahmen zur Förderung von Elektromobilität auf Landesebene: Das Bundesland Baden-Württemberg bewarb sich auf einen Platz im „Schaufenster Elektromobilität“ Förderprogram. Die so zur Verfügung stehenden Fördergelder des „Schaufenster Elektromobilität“ Programmes und die damit verbundenen Forschungs- und Bauprojekte wurden im Land Baden-Württemberg zentral von der Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie „e-mobil BW“ verteilt und koordiniert (e-mobil BW 2017).
- Bildung eines Netzwerkes mit dem Stuttgarter Siedlungswerk durch das Living Lab BWe mobil zur Ausarbeitung der Idee zur Integration von Elektromobilität mit der Entwicklung eines nachhaltigen Stadtviertels.
- Anknüpfung des LivingLab BWe Programmes an die bestehenden Planungsarbeiten zu einem Wohnbauvorhaben des Siedlungswerkes im Rosensteinviertel.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Planung des Vorhabens „Wohnen & E-mobilität im Rosensteinviertel“ (Dezember 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Nachdem das Wohnbauvorhaben an der Ecke Nordbahnhofstraße/Eckartstraße für die Teilnahme am LivingLab BWe Programm ausgewählt wurde, musste zunächst ein Elektromobilitätskonzept entwickelt und dieses in das bestehende Architekturkonzept von den Architekten Ackermann+Raff integriert werden. Das Architekturkonzept wurde schon vor der Kooperation mit LivingLab BWe nach einem Architektenwettbewerb vom Siedlungswerk ausgewählt (Steffen und Schork 2013). In Kollaboration mit LivingLab BWe wurde daraufhin vom Siedlungswerk ein nachhaltiges Mobilitätskonzept entwickelt, welches den zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohnern ein Angebot für die Nutzung einer elektromobilen Fahrzeugflotte mit Elektroautos und Pedelecs zur Verfügung stellen sollte. Zusammenfassend hatte das Vorhaben mehrere Ziele: Erstens, das Siedlungswerk Stuttgart war daran interessiert, ob und wie sich Wohnen und Mobilität miteinander verbinden lassen. Zweitens, die Nutzungs- und Speichermöglichkeiten der im Quartier vorhandenen Energieressourcen für die Elektromobilität sollten aufgezeigt werden. Drittens, es sollten Lösungen von vor allem in Ballungsräumen auftretenden Verkehrsproblemen (zum Beispiel Lärmbelastung und Luftverschmutzung) erarbeitet werden. Weiterführend ist eine umweltfreundlichere Gestaltung individueller Mobilität ein wichtiges Ziel des Vorhabens gewesen (zum Beispiel Sharing-Modelle wie Car- und Bikesharing).

Die Teilnahme am LivingLab BWe Programm führte nicht nur zu einem Elektromobilitätskonzept in dem Wohnquartier. Auf Initiative des Siedlungswerkes sollte auch die für den Betrieb des Fuhrparks benötigte Energie lokal und weitestgehend regenerativ erzeugt werden. Der Strom soll für die Gebäudeunterhaltung (Allgemeinstrom wie Außenanlagen, Tiefgarage etc.) und die Elektrofahrzeuge genutzt werden, nicht aber in den Wohnungen (Bewohnerinnen und Bewohner können ihren Stromanbieter frei wählen). Weiterhin sollen Stromspeichermöglichkeiten vor Ort für eine bessere Nutzbarkeit des produzierten Stroms sorgen.

Abbildung 12: Baukonzept des Wohnquartiers



Quelle: Siedlungswerk (2012) „Lageplan M 1:500“

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Pioniergeist bezüglich neuer Quartierskonzepte zu Wohnen und Mobilität: Die Siedlungswerk GmbH war gezielt auf der Suche nach nachhaltigen Quartierskonzepten, welche Wohnen und Mobilität miteinander verbinden können.
- Finanzielle Förderung durch Teilnahme an dem Förderprogramm „LivingLab BWe mobil“: Unterstützte das Bauvorhaben durch finanzielle Mittel und Expertise (Expertenrat zu technischen, finanziellen oder sozialen Fragen) und initiierte die Integration des Mobilitätskonzept in das Bauvorhaben.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Erarbeitung eines Konzeptes zur Integration von Elektromobilität und Stromerzeugung in Wohnquartieren und Verbindung mit bestehendem Baukonzept
- Netzwerkbildung und Wissensaustausch zur Ausarbeitung des Konzeptes: Die Integration von Elektromobilität und Stromerzeugung in Wohnquartieren ging über die vorhandene Expertise des Siedlungswerks hinaus und erforderte die Kollaboration mit vielen verschiedenen Parteien, um ein gutes Ergebnis zu gewährleisten. Daher kollaborierte das Siedlungswerk in dieser weiteren Planungsphase mit verschiedenen Partnern (Gutachter, Energieproduzenten, Carsharing Anbieter).

2.4 Entwicklungsmoment #4: Identifizierung von Potential, Möglichkeiten und Hürden für die Umsetzung des Wohnquartiers (2013 – 2015)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Zur besseren Planung und Einschätzung der Integration von Elektromobilität in das Wohnquartier wurden vom Siedlungswerk vier umfassende Gutachten in Auftrag gegeben. Die beauftragten Gutachterinnen und Gutachter haben schon in früheren Projekten mit dem Siedlungswerk gearbeitet. Finanziert wurden die Gutachten durch LivingLab BWe.
Durch Weeber+Partner (Institut für Stadtplanung und Sozialforschung) wurde ein sozialwissenschaftliches Gutachten erstellt um die Nachfrage der zukünftigen Anwohner nach einem Elektromobilitätsangebot zu ermitteln, vor allem die Nachfrage nach einem Carsharing Angebot (Steffen und Schork 2013). Fragen waren: „Was könnte das überhaupt sein, was gibt es da schon? Gibt es da überhaupt schon was? Wie könnten eventuelle Bedürfnisse sein von unseren Bewohnern? […] Wer zieht da eigentlich hin, was gibt es dafür Erfahrungen, zum Beispiel auch von Carsharing Unternehmen, wie das genutzt wird und solche Dinge“ (Welz 2016, mündlich). In der Wohnanlage werden Bewohnerinnen und Bewohner verschiedener Bevölkerungsschichten erwartet. Von den 125 Wohnungen werden nur 94 WE als klassische Eigentumswohnungen angeboten. Je 9 WE werden im Rahmen des Programmes „Preiswertes Wohneigentum“ und als 8 Mietwohnungen für mittlere Einkommensbezieher gebaut. Die restlichen 14 WE werden im sozialen Wohnungsbau für Menschen mit Körperbehinderungen gebaut. Dadurch ergibt sich ein vielseitiges Bewohnerbild, welches unterschiedliche Anforderungen an Mobilitätsangebote stellen wird. Die Autorinnen und Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass in der zukünftigen Wohnanlage insgesamt gute Voraussetzungen für eine elektromobile Fahrzeugflotte bestehen würden (Steffen und Schork 2013). Durch die zentrale Stadtlage rentiert sich die Anschaffung von Zweitautos für die Bewohnerinnen und Bewohner kaum, daher könnte das Carsharing Angebot zu erheblichen finanziellen Erleichterungen bei den Bewohnerinnen und Bewohnern führen (für die Fälle in denen ein zweites Auto benötigt wird). Viele Wege in dem Viertel werden voraussichtlich in der Freizeit zurückgelegt und sind relativ kurz. Insgesamt sehen die Gutachter ein wachsendes nutzerseitiges Interesse an Carsharing und damit gute Voraussetzung für das Teilen von Fahrzeugen im Rosensteinviertel. Des Weiteren sprachen sie die Empfehlung aus, für das Car- und Bikesharing mit zwei Elektroautos und vier Pedelecs zu beginnen und die Flotte flexibel (je nach Bedarf) zu erweitern. Dies lag weit unter den Erwartungen des Siedlungswerkes: „Wir hatten eigentlich gedacht, vorher in internen Überlegungen, wir müssen da einen Fuhrpark aufbauen, ich sag mal bestehend, mehr oder weniger, aus zehn Autos und zwanzig Elektrorollern und Pedelecs und für 125 Wohnungen, das reicht dann aus“ (Welz 2016, mündlich). Die Studie führte so zu der Erkenntnis, dass diese Vorstellungen zu hochgesteckt waren, und der Aufbau von Elektromobilität in einem Wohnviertel Zeit braucht, beworben werden muss und gegebenenfalls später ausgebaut werden kann. Das Angebot sollte zunächst speziell auf die Mobilitätsbedürfnisse bei Alltagserledigungen und FreizeitHandlungen ausrichtet sein und von Beginn an kontextgerecht (zum Beispiel bezugnehmend auf übergreifende Trends) ausreichend beworben werden. Eine weitere Erkenntnis war, dass Reichweite für das Carsharing eigentlich

kein Problem ist. Die meisten Nutzerinnen und Nutzer legen nur kurze Entfernungen zurück. Zweitwagen stehen zu 90% still, da bietet sich Carsharing an.
Zusätzlich wurden zwei juristische Gutachten erarbeitet. Prof. Dr. Büchner erstellte eine öffentlich-rechtliche Studie um festzustellen, welche regulativen Herausforderungen überwunden werden müssen um die vom sozialwissenschaftlichen Gutachten identifizierten Anforderungen an das Wohnbauvorhaben befriedigen zu können. Die meisten der identifizierten Hürden wurden schon durch die Neureglung der Landesbauordnung Baden-Württemberg (2014) beseitigt; beispielsweise ist die Reduzierung baurechtlich notwendiger Stellplätze seither möglich (Büchner 2013). Vor dieser Neuregelung war es die rechtliche Pflicht, bei Neubauten je Wohneinheit mindestens einen Autostellplatz zur Verfügung zu stellen. Dies ist in städtischen Räumen meist nur durch den Bau von (teuren) Tiefgaragen möglich, da das Platzangebot begrenzt ist. Durch die Neuregelung kann ein Angebot von Carsharing den Bau einiger Stellplätze ersetzen und somit zu Kosteneinsparungen auf Seiten des Bauherren (Siedlungswerk GmbH) und damit für den Erwerber führen (Welz 2016, mündl).
Neben den öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen wurden auch die zivilrechtlichen Bedingungen begutachtet. Rechtsanwalt Stephan Vopp erforschte, welche Eigentums- und mietrechtlichen Herausforderungen überwunden werden mussten, um eine positive Realisierung des Rosensteinviertels zu gewährleisten. Beispielsweise musste geklärt werden, wer der Besitzer und Verwalter der Carsharingflotte sein sollte. Um sowohl die Anbieter wie die Nutzerinnen und Nutzer rechtlich zu schützen und das Programm langfristig eventuell ausweiten zu können, wurde unter anderem die Zusammenarbeit mit einem privaten Carsharing-Unternehmen empfohlen (Volpp 2014).
In dem vierten Gutachten wurde ein Konzept zur Erzeugung und Bereitstellung der Energie zum Betrieb der Elektrofahrzeuge erstellt (EGS-plan 2014). Der Strom soll bilanziell im Quartier in Zusammenarbeit mit der Firma ImmoTherm GmbH selbst erzeugt werden. Dabei sollen die Stromerzeugungsanlagen von ImmoTherm unterhalten werden und der Strom dann an die Nutzerinnen und Nutzer (zum Beispiel Carsharing-Anbieter) weiterverkauft werden. Dadurch lassen sich rechtlich und organisatorisch potenziell problematische Aspekte, wie zum Beispiel die Frage nach der Kostenübernahme bei Ausfall der Anlage, vermeiden.
Laut den Plänen von ImmoTherm soll die Eigenstromerzeugung zu ¾ durch ein Blockheizkraftwerk und zu ¼ durch eine Photovoltaikanlage erfolgen. Bezogen auf den Gesamtstrombedarf für den Gebäudebetrieb und Allgemeinstrom wird der Strombedarf der gesamten elektromobilen Fahrzeugflotte nur etwa 4 % betragen. Ein stationärer Strom-Zwischenspeicher soll eine effizientere Speicherung von ungenutztem Strom ermöglichen. Die Gutachter merken an, dass durch unpassende Dachbeschaffenheiten von der Bruttofläche von rund 1.700 m^2 nur knapp 500 m^2 Modulfläche für die Photovoltaikanlage realisiert werden können.Daher ist eine Vergrößerung der PV-Anlage zu einem späteren Zeitpunkt aus baulichen beziehungsweise planungsrechtlichen Gründen nicht möglich. Daher wird empfohlen, für zukünftige Projekte die nutzbare Solarfläche durch bestimmte Maßnahmen, wie beispielsweise vollflächig belegbare Pultoberflächen, zu vergrößern (EGS-plan 2014).
Insgesamt wurden dem Bauvorhaben von allen Gutachtern gute Voraussetzungen bescheinigt. Organisatorisch waren (und sind) bei den beteiligten Unternehmen keine Änderungen notwendig

(Welz 2017, mündlich). Die Stadt Stuttgart war bei den Planungsarbeiten nicht direkt beteiligt und wurde nur fortlaufend durch das Siedlungswerk über Fortschritte informiert. Da das Siedlungswerk schon früher mit der ImmoTherm Gmbh durch Contracting Lösungen kollaboriert hat, war im Fall der Rosensteinviertels keine Schaffung neuer organisatorischer Schnittstellen notwendig.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Finanzielle Förderung der Gutachten durch Bundes- und Landesmittel: LivingLab BWe finanzierte die Gutachten
- Im Verhältnis zur Bruttofläche steht nur eine relativ geringe nutzbare Fläche für eine Photovoltaikanlage zur Verfügung: Nicht die gesamte Dachfläche der Wohnanlage wird für Photovoltaikanlagen nutzbar sein. Daher sind die Erweiterungsmöglichkeiten bei einer eventuell steigenden Stromnachfrage begrenzt.
- Die physischen Gegebenheiten vor Ort und die Art der Bebauung (zum Beispiel Flachdächer) bieten sich für die Erzeugung regenerativer Energie an.
- Interesse der zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohner an Elektromobilität: Die zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohner der Wohnanlage werden laut des sozialwissenschaftlichen Gutachtens aller Wahrscheinlichkeit ein Interesse an dem Elektromobilitätsangebot haben und liefern somit den benötigten Bedarf, um das Angebot rentabel zu machen (Steffen und Schork 2013).
- Batterien sind (noch) ineffizient in der Stromspeicherung: Alle evaluierten Batterietechnologien für Elektroautos und die Stromspeicherung in der Anlage haben gewisse Nachteile (zum Beispiel hohe Investition, niedrige Effizienz, sinkende Leistung über die Zeit).
- Rechtliche Rahmenbedingungen für Carsharing: Die Änderung des Landesbaugesetzes beseitigte die meisten öffentlich-rechtlichen Hürden des Bauvorhabens. Somit können nun Garagenstellplätze durch Carsharing Plätze teilweise ersetzt werden und somit Kosten gespart werden.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Erstellung von umfassenden Gutachten zur Evaluation der Erfolgsaussichten des Vorhabens vor der Realisierung: Die begutachtenden Parteien (Rechtsanwaltskanzleien und Stadtbaubüros) erstellten im Auftrag der Siedlungswerk GmbH die Gutachten und brachten somit die gebrauchte Expertise in die Planungen ein, welche die Siedlungswerk GmbH nicht alleine besitzt.
    - Rechtliche Expertise zu Zivilrecht und öffentlichem Recht (speziell zu der Frage, ob und wie das neuartige Konzept mit dem Landesbaurecht kompatibel ist) wurde durch die Rechtsanwälte Herr Dr. Büchner und Herr Volpp zur Verfügung gestellt.
    - Technische Expertise zur Energieerzeugung auf dem Wohnungsgrundstück wurde durch die EGS-plan Ingenieurgesellschaft zur Verfügung gestellt.
    - Gesellschaftswissenschaftliche Expertise (speziell die Fragen nach zukünftigen Nutzerinnen und Nutzern, zu erwartender Demographie in der Wohnanlage und

der besten Fahrzeugflottenzusammenstellung) wurde durch Weeber+Partner (Institut für Stadtplanung und Sozialforschung) zur Verfügung gestellt.
- Identifizierung von zukünftigen Kundengruppen durch ein sozialwissenschaftliches Gutachten.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Grundsteinlegung (Juni 2015)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Im Juni 2015 wurde in Stuttgart der Grundstein des Wohnbauvorhabens gelegt. Die Pläne aus dem Architektenwettbewerb (2012) wurden nicht grundlegend verändert, sondern geringfügig angepasst. Da sowohl die Stromerzeugung als auch das Elektromobilitätsangebot in der Konstruktion der Wohnanlage keine grundlegenden Änderungen erforderten, konnten die beiden Bestandteile ohne großen Arbeitsaufwand in das bestehende Konzept integriert werden. Per Wohneinheit wird ein Stellplatz in der Parkgarage gebaut, welcher mit einem Elektroanschluss versehen ist. Der Bau wird durch das Siedlungswerk Stuttgart finanziert, die Investitionssumme beläuft sich auf ca. 30 Millionen €. Die 125 geplanten Wohnungen des ersten Bauabschnittes sollen bis Sommer 2017 bezugsfertig sein (Welz 2017, mündlich). Der Baubeginn fand etwas später statt, als es geplant war. Allerdings lag das nicht an Komplikationen bei der Planung, sondern an Verspätungen bei der Baugenehmigung auf der Seite der Gemeinde (Welz 2016, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:
- Verzögerungen des Baubeginns durch Genehmigungsverfahren: Der Beginn des Baus musste aufgrund von Verzögerungen in der Wohnbaugenehmigung verschoben werden. Das Grundstück, auf dem das zukünftige Wohnungsquartier entstehen sollte, war vorher ein Gewerbegebiet. Dadurch war ein planungsrechtliches Verfahren (Bebauungsplan) bei der Stadt Stuttgart notwendig, um eine Baugenehmigung für ein Wohnungsgebäude zu erhalten. Dieses Verfahren dauert in Stuttgart bis zu 4 Jahren und dauerte auch im Fall dieses Wohnungsquartiers länger als ursprünglich geplant.
- Finanzierung des Bauvorhabens durch das Siedlungswerk: Das Siedlungswerk übernimmt die volle Finanzierung des Wohnbauvorhabens. Die Elektroautos für das Carsharing werden teilweise durch e-mobil BW übernommen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:
- Die urspünglichen Baupläne aus dem Architekturwettbewerb wurden von den beteiligten Unternehmen geringfügig an die neue Infrastrukturkopplung angepasst.

2.6 Entwicklungsmoment #6: Inbetriebnahme des Carsharing Systems (April 2016)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Schon vor Fertigstellung der Wohnanlage wurden erste Teile des elektromobilen Fuhrparks neben dem Baugrundstück in Betrieb genommen. Das Siedlungswerk kooperiert dabei mit dem Carsharing Anbieter ‚Stadtmobil'. Seit April 2016 stellt der Carsharing Anbieter ‚Stadtmobil' zwei

elektrisch betriebene Renault Zoe bereit, welche von allen Kundinnen und Kunden des Anbieters genutzt werden können (Stadtmobil 2016). Diese Autos sind auf einem frei zugänglichen Parkplatz in der Nähe des Baugrundstückes erhältlich (Friedhofstraße). Die Autos wurden durch das Siedlungswerk (mit finanzieller Unterstützung durch LivingLab) finanziert und an Stadtmobil übergeben. Als Eigentümer der Autos ist Stadtmobil durch einen Sponsoringvertrag verpflichtet, die Autos vier Jahre an dem Standort (das heißt die Wohnanlage) zu halten. Falls es Defekte gibt, muss Stadtmobil für Ersatz sorgen.
Die Autos werden sowohl den Anwohnerinnen und Anwohnern der Wohnanlage, als auch Kunden von Stadtmobil zur Verfügung stehen, wobei die Wohnungseigentümerinnen und -eigentümer in dem Wohnbauquartier gewisse Privilegien durch Stadtmobil bekommen: So wird die Aufnahmegebühr bei Stadtmobil erlassen, keine Grundgebühr für sechs Monate erhoben und zehn Freistunden pro Wohneinheit zur Verfügung gestellt (Welz 2016, mündlich). Zurzeit wird der Strom noch von Erzeugern außerhalb des Stadtteils geliefert, soll aber später von dem lokal generierten Strom der Rosenviertel Wohnanlage bezogen werden, wenn diese fertiggestellt ist. Nach der Fertigstellung des Baubauvorhabens im Jahr 2017 werden die Elektroautos an einem festen Standort bereit stehen innerhalb der Wohnanlage. Außerdem ist in Planung, zu einem späteren Zeitpunkt neben den Elektroautos noch (bis zu) vier elektrische Fahrräder zur Verfügung zu stellen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bestehende Expertise zum Carsharing steht durch die Kooperation mit Stadtmobil zur Verfügung: Das Siedlungswerk und die zukünftige Wohnungseigentumsgesellschaft lagern den Unterhalt des Carsharing Systems komplett an den Spezialisten Stadtmobil aus und sichern so die technische Instandhaltung.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Sichtbarmachung des Carsharing-Angebots an die zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohner der Wohnanlage zur frühen Bindung von Kunden an den Standort: Zurzeit gibt es auf dem Gelände noch keine Bewohnerinnen und Bewohner, daher müssen andere Wege der Kundebindung genutzt werden.
- Aufsetzen eines Sponsoringvertrages mit Stadmobil: Die Autos wurden durch das Siedlungswerk (mit finanzieller Unterstützung durch LivingLab) finanziert und an Stadtmobil übergeben. Als Eigentümer der Autos ist Stadtmobil durch einen Sponsoringvertrag verpflichtet, die Autos vier Jahre an dem Standort (das heißt die Wohnanlage) zu halten. Falls es Defekte gibt, muss Stadtmobil für Ersatz sorgen.
- Netzwerkbildung und Kooperation durch das Siedlungswerk mit einem etablierten Carsharing Anbieter um sowohl Expertise als auch Kunden zu gewinnen.

2.7 Heutiger Stand (April 2017)

Beschreibung des heutigen Stands der Infrastrukturkopplung:

Die Bauanlage ist zurzeit noch nicht fertig gestellt, wird aber voraussichtlich plangemäß im Juni 2017 bezugsfähig sein. Die Bauarbeiten verlaufen soweit ohne Verzögerungen (Welz 2016, mündlich). Die Wohnungen waren Ende 2016 komplett verkauft
Während für das rechtliche Problem mit den Stellplätzen eine Lösung gefunden werden konnte, da die Landesbauordnung Baden-Württembergs geändert wurde, besteht noch ein Problem mit der Stromvermarktung: Wollte man lokal generierten Strom direkt an die Anwohner weiterverkaufen, wäre es auf lange Sicht notwendig, dass rechtliche Regelungen gefunden werden würden, die dieses einfach ermöglichen (Welz 2016, mündlich).
Die bis dahin gewonnenen Erkenntnisse sollen Vorbild werden für weitere Projekte des Siedlungswerkes und anderen Wohnquartierkonzepten in ganz Deutschland sein. Die Erkenntnisse, welche das Siedlungswerk aus dem bisherigen Planungs- und Umsetzungsverlauf gezogen hat werden schon jetzt für weitere Projekte des Siedlungswerkes nutzbar gemacht. So wird beispielsweise in Tübingen eine weitere Wohnanlage nach Vorbild des Rosensteinviertels geplant (Welz 2016, mündlich). Die Erkenntnisse aus dem Rosensteinviertel werden weiter durch Vorträge des Siedlungswerkes und von e-mobil BW in verschiedensten Veranstaltungen für andere Unternehmen zugänglich gemacht.
Das Konzept von der Kopplung von Elektromobilität und Stromerzeugung in Wohnräumen wird auch immer mehr von Kommunen angefragt. Es lässt sich aus Sicht des Siedlungswerks ein Trend erkennen, dass Elektromobilität immer beliebter wird und im Gegensatz zu den Beginn der Planungen 2012 heute als eine etablierte Form der Mobilität gilt (Welz 2016, mündlich).

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Gesetzliche Rahmenbedingungen erschweren die private Nutzung des erzeugten Stroms: Gegenwärtig darf der im Wohnquartier erzeugte Strom aus rechtlichen Gründen nicht ohne weiteres an die Privathaushalte innerhalb des Quartiers geliefert werden.
- Kommunen zeigen steigendes Interesse an dem Konzept: Immer mehr Interessenten (zum Beispiel Kommunen) fragen das Siedlungswerk nach dem Konzept und erwägen eine Umsetzung einer solchen Kopplung.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Breitenwirksame Verbreitung der Erkenntnisse: Das Siedlungswerk und e-mobil BW bewerben das Wohnbauvorhaben in Vorträgen und mache gewonnene Erkenntnisse somit für weitere Unternehmen nutzbar.
- Das Wohnbauvorhaben in Stuttgart gilt als Modellprojekt und wird auch dementsprechend unter anderen Akteuren beworben.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Im folgenden Abschnitt untersuchen wir zunächst die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Entwicklungsmomente der Infrastrukturkopplung und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkung. Darauffolgend untersuchen wir die Handlungen und Rollen der involvierten Akteure,

und wie diese mit den gegebenen Einflussfaktoren umgegangen sind. Tabelle 8 bietet eine Übersicht über die verschiedenen Veränderungsdynamiken während der Entwicklungsmomente.

Tabelle 8: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des Rosensteinviertels in Stuttgart

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Geburt der Idee eines nachhaltigen Rosensteinviertels (ca. 2003)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung):* (Technologischer) Pioniergeist in Stuttgart und Baden-Württemberg	Unterstützend: treibt Interesse an dem Ausprobieren von technischen Innovationen	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierend)*: Ausschreibung der Stadt Stuttgart für ein Nachhaltigkeitskonzept zur Entwicklung des Rosensteinviertels.
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Steigendes Interesse an einer Energiewende in Deutschland	Unterstützend: Wille zum Wandel ist vorhanden	
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Restrukturierung der Stadt (durch die Stuttgart 21 Umbaumaßnahmen)	Unterstützend: schafft Raum für neue Infrastruktur	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Nachhaltigkeitsstrategie und Handlungen der Stadt	Unterstützend: nachhaltige Umbaumaßnahmen in der Stadt werden gezielt gefördert	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Umweltschutz als zivilgesellschaftliches Interesse und Tradition	Unterstützend: Umweltengagement ist in der Gesellschaft Stuttgarts fest etabliert	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Tragfähige Alternativen zu umweltunfreundlichen Technologien durch marktreife nachhaltige Technologie	Unterstützend: Technologien, welche die Stadt umweltfreundlicher machen könnten (beispielsweise PV) sind marktreif und werden gefördert	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#2: Programstart „LivingLab BWe mobil“ (April 2012)	*Anreize und Regulierungen:* Bundesprogramm zur Förderung von Elektromobilität (Schaufenster Elektromobilität)	Unterstützend: schafft Anreize, neue Projekte bzgl. Elektromobilität zu initiieren	*Sektor- und skalenübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Zentralisierung der Koordination verschiedener Maßnahmen zur Förderung von Elektromobilität auf Landesebene durch Living Lab BWe-mobil. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Bildung eines Netzwerkes mit dem Stuttgarter Siedlungswerk durch das Living Lab BWe mobil zur Ausarbeitung der Idee zur Integration von Elektromobilität mit der Entwicklung eines nachhaltigen Stadtviertels. *Sektor- und skalenübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Anknüpfung des LivingLab BWe Programmes an die bestehenden Planungsarbeiten zu einem Wohnbauvorhaben des Siedlungswerkes im Rosensteinviertel.
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Positive Einstellung gegenüber Elektromobilität auf Bundesebene	Unterstützend: politische Unterstützung des Vorhabens	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Fortgeschrittene technische Entwicklungen zu Elektromobilität	Unterstützend: schafft Alternativen zu herkömmlicheren Formen der Mobilität	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Marktreife und erprobte Technologien zur Produktion von Erneuerbaren Energien	Unterstützend: schafft Alternativen zu herkömmlicheren Formen der Stromerzeugung	
#3: Planung des Vorhabens „Wohnen & Elektromobilität im Rosensteinviertel“ (Dezember 2012)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung):* Pioniergeist bezüglich neuer Quartierskonzepte zu Wohnen und Mobilität	Unterstützend: fördert die Integration und Erprobung neuartiger, nachhaltiger Technologien	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Erarbeitung eines Konzeptes zur Integration von Elektromobilität und

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Finanzielle Förderung durch Teilnahme an dem Projekt „LivingLab BWe mobil“	Unterstützend: stellt finanzielle Förderung zur Umsetzung der Anlage bereit	Stromerzeugung in Wohnquartieren und Verbindung mit bestehendem Baukonzept. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Netzwerkbildung und Wissensaustausch zur Ausarbeitung des Konzeptes durch das Siedlungswerk.
#4: Identifizierung von Potential, Möglichkeiten und Hürden für die Umsetzung des Wohnquartiers (2013 – 2015)	*Anreize und Regulierungen:* Finanzielle Förderung der Gutachten durch Bundes- und Landesfördermittel (LivingLab BWe)	Unterstützend: fördert eine ausreichend Begutachtung der Erfolgsaussichten des Projektes vor weiteren Planungen	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Erstellung von umfassenden Gutachten zur Evaluation der Erfolgsaussichten des Vorhabens vor der Realisierung. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Identifizierung von zukünftigen Kundengruppen durch ein sozialwissenschaftliches Gutachten.
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Gute physischen Gegebenheiten vor Ort (zum Beispiel die Häuserdächer) bieten sich für die lokale Stromerzeugung an	Unterstützend: technische Machbarkeit ist gegeben	
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Im Verhältnis zur Bruttofläche steht nur eine relativ geringe nutzbare Fläche für eine Photovoltaikanlage zur Verfügung	Hemmend: der Anteil an regenerativ erzeugter Elektrizität ist relativ gering (ca. 25% der Gesamterzeugung)	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Batterien sind (noch) sehr ineffizient in der Stromspeicherung, was zu Stromverlusten führen kann	Hemmend: senkt die Effizienz der Anlage	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Sozio-kulturelle Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Interesse der zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohner an Elektromobilität	Unterstützend: zukünftige potenzielle Abnehmer der Wohneinheiten sind vorhanden	
	Anreize und Regulierungen: Rechtliche Rahmenbedingungen	Unterstützend: legale Machbarkeit des Projektes ist gegeben	
#5: Grundsteinlegung (Juni 2015)	*Lokale institutionelle Strukturen:* Finanzierung des Bauvorhabens durch das Siedlungswerk	Unterstützend: stellt die finanzielle Unterstützung des Wohnquartiers sicher	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ):* Die ursprünglichen Baupläne aus dem Architekturwettbewerb wurden von den beteiligten Unternehmen geringfügig an die neue Infrastrukturkopplung angepasst.
	Lokale institutionelle Strukturen: Verzögerungen durch Genehmigungsverfahren	Hemmend: verzögert die Fertigstellung des Wohnquartiers	
#6: Inbetriebnahme des Carsharing Systems (April 2016)	*Lokale institutionelle Strukturen:* Bestehende Expertise zum Carsharing steht durch die Kooperation mit Stadtmobil zur Verfügung	Unterstützend: bringt Expertise und Kunden zu dem Standort	*Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Sichtbarmachung des Carsharing-Angebots an die zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohner der Wohnanlage zur frühen Bindung von Kunden an den Standort. *Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ) und sektor- und skalenübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Netzwerkbildung und Kooperation vom Siedlungswerk mit einem etablierten Carsharing Anbieter (Stadtmobil) um sowohl Expertise als auch Kunden zu gewinnen.

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung): Aufsetzen eines Sponsoringvertrages mit Stadmobil: Die Autos wurden durch das Siedlungswerk (mit finanzieller Unterstützung durch LivingLab) finanziert und an Stadtmobil übergeben. Als Eigentümer der Autos ist Stadtmobil durch einen Sponsoringvertrag verpflichtet, die Autos vier Jahre an dem Standort (das heißt die Wohnanlage) zu halten. Falls es Defekte gibt, muss Stadtmobil für Ersatz sorgen.
Heutiger Stand	*Anreize und Regulierungen:* Gesetzliche Rahmenbedingungen erschweren die private Nutzung des erzeugten Stroms	Hemmend: verhindert eine optimale Nutzung des Stroms	*Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Breitenwirksame Verbreitung der Erkenntnisse: Das Siedlungswerk und e-mobil BW bewerben das Wohnbauvorhaben in Vorträgen und mache gewonnene Erkenntnisse somit für weitere Unternehmen nutzbar. *Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Das Wohnbauvorhaben in Stuttgart gilt als Modellprojekt und wird auch dementsprechend unter anderen Akteuren beworben.
	Sozio-kulturelle Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Steigendes Interesse an dem Konzept von Kommunen	Unterstützend: Fördert die Etablierung und Verbreitung der Kopplung über die geographischen Grenzen der Stadt Stuttgart hinaus	

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Entwicklungspfad kamen unterschiedliche Entwicklungsfaktoren zum Tragen, welche größtenteils unterstützend auf die einzelnen Entwicklungsmomente gewirkt haben – dies kann auch an den vorliegenden Informationsquellen liegen. Die meisten vorhandenen Quellen wurden entweder von dem Bauträger (Siedlungswerk GmbH) oder von bundes- oder landespolitischen Stellen verfasst.
Insbesondere für die Initialisierung der Wohnanlage kamen hauptsächlich sozio-kulturelle Faktoren und weiterreichende gesellschaftlichen Metafaktoren zum Tragen, welche zu einem politisch und gesellschaftlich wohlwollendem Klima gegenüber nachhaltigem Wohnen und später Elektromobilität geführt haben. Seit den frühen 2000er Jahren lässt sich in Deutschland ein wachsendes Umweltbewusstsein feststellen, welches vielerorts zu einem Anstieg an Umweltinitiativen geführt hat. Dieser Wandel spiegelte sich auch auf lokaler Ebene in Stuttgart wieder: Auch wenn in der Stadt schon früh Umweltinitiativen und Umweltprogramme ins Leben gerufen wurden, wurde bisher kein ganzer Stadtteil mit dem erklärten Ziel der Nachhaltigkeit geplant. Nachhaltigkeit stellt auch ein Vermarktungkriterium dar, weshalb das Siedlungswerk auch unter anderem an einer nachhaltigen Infrastrukturkopplung interessiert war. Die breitere Nischenentwicklung der nachhaltigen Technologien (zum Beispiel nachhaltiger Stadtbau und Technologien zu Erneuerbaren Energien und E-Mobilität) ermöglichte es den Planern, auf tragfähige alternative Technologien zurückgreifen zu können. Waren umweltschonende Technologien früher noch politisch schwierig durchzusetzen, da sie oft mit höheren Kosten als bei konventionellen Technologien verbunden waren, sind sie zur Zeit der Planung des Rosensteinviertels von der breiteren Bevölkerung akzeptiert, politisch beliebt und technisch relativ weitgehend entwickelt.
Breitere technische Entwicklungen auf der Metaebene trugen dazu bei, dass die Planer der Wohnanlage auf tragfähige und (teilweise) erprobte Technologien zur Stromerzeugung und Mobilität zurückgreifen konnten. Auf der Seite der Stromerzeugung war es wichtig, dass die Technologie auf dem begrenzten Gebiet der Wohnanlage genügend Strom erzeugen konnte, so dass die Nachfrage der verschiedenen Abnehmer (Betreiber der Wohnanlage, Betreiber der Elektrozapfsäulen und das Carsharing Unternehmen) befriedigt werden konnte. Gleichzeitig musste die Technologie der Stromspeicherung genügend ausgereift sein, um überschüssigen Strom mit möglichst wenigen Verlusten speichern zu können. Allerdings lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht sagen, ob die eingesetzten Technologien auch wie geplant funktionieren oder zu einem späteren Zeitpunkt zu Problemen in der Anlage führen werden (zum Beispiel kaputte Stromerzeugungsanlagen).
Auf den Entwicklungspfad hatten Anreize und Regulierungen durch den Bund und das Land Baden-Württemberg einen maßgeblichen Einfluss. Die Förderung des Wohnbaubauvorhabens durch das „Schaufenster Elektromobilität“-Programm der Bundesregierung schuf die nötigen finanziellen Mittel, um das neuartige Konzept ausreichend zu begutachten und zu planen. So war es beispielsweise durch die finanzielle Förderung möglich, vier umfangreiche Gutachten erstellen zu lassen. Diese Gutachten trugen maßgeblich dazu bei, dass das Vorhaben sowohl in technischer als auch in gesellschaftlicher Hinsicht ausreichend geplant werden konnte. Weiter wurden auch die Elektroautos für das Carsharing (anteilig) von den Fördergeldern durch

„Schaufenster Elektromobilität“ finanziert. Die Wohnanlage selber wurde als eines von vielen weiteren Immobilienprojekte durch das Siedlungswerk finanziert, welches (wie bei ‚normalen‘ Immobilienprojekten Profit aus dem Verkauf und der Vermietung der entstehenden Wohnungen ziehen wird). Des Weiteren wurde die Bundesförderung durch ein eigens dafür eingerichtetes Programm auf Landesebene koordiniert (BWe mobil). Durch dieses Programm wurden neue Netzwerke zwischen Akteuren geschaffen, welche zu Wissensaustausch führten, der sich mutmaßlich begünstigend auf das Bauvorhaben auswirkte. Hemmend haben sich in dieser Kategorie die Landesbauordnung zur damaligen Planung ausgewirkt, welche in der Anfangsphase der Planungen das Einsparen von Stellplätzen durch das Carsharing unmöglich machten. Die Änderung der Landesbauordnung (unter anderem durch Einfluss von e-mobil BW; Fischer 2017, mündl) führte dazu, dass durch das Carsharing massiv Stellplatzkosten durch das Siedlungswerk eingespart werden konnten.
Lokale institutionelle Faktoren kamen erst im späteren Verlauf zum Tragen. Bei der Grundsteinlegung kam es durch Verzögerungen des Genehmigungsverfahrens (Wandel von einem Industriegrundstück in ein Baugrundstück) zu Verzögerungen, was letzten Endes zu einer späteren Fertigstellung des Wohnquartieres als ursprünglich geplant führte (Sommer anstatt Frühling 2017). Weiter führte die Kooperation mit Stadtmobil und ImmoTherm dazu, kompetente Partner am Projekt beteiligt werden konnten.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt benennt und analysiert die akteursbezogenen Prozesse, welche einen Einfluss auf den Entwicklungspfad gehabt haben. Dadurch kann festgestellt werden, wie die verschiedenen Akteure mit Einflussfaktoren umgegangen sind, um einen erfolgreichen Ausgang des Bauvorhabens zu gewährleisten, und welchen Herausforderungen sie gegenüberstanden. Wir analysieren die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen, welche innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Tabelle 9 bietet eine Übersicht über die involvierten Akteure im Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung. Die zentralen Akteure waren das Siedlungswerk und e-mobil BW, welche zusammen das Bauvorhaben im Rosensteinviertel auswählten, um die Kopplung von Stromerzeugung und Elektromobilität dort zu erproben. Das Siedlungswerk ist eine Immobiliengesellschaft, welche in Städten im gesamten Land Baden-Württemberg Wohnbauvorhaben realisiert, verwaltet, und verkauft. Das Siedlungswerk war der zentrale organisatorische Akteur, sie übernahmen die Bauherrschaft für die Umsetzung der Infrastrukturkopplung. Sie managten die Planung und (größtenteils) die Finanzierung der Kopplung, wurden dabei aber maßgeblich durch e-mobil BW und Fördergeldern aus dem Programm „Schaufenster Elektromobilität“ unterstützt. Die Stadtregierung und Stadtverwaltung Stuttgart wurden zwar laufend über Fortschritte in dem Vorhaben informiert, nahmen aber keine aktive Rolle in der Planung oder Umsetzung des Vorhabens ein.

Tabelle 9: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad des Rosensteinviertels in Stuttgart

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Siedlungswerk GmbH Wohnungs- und Städtebau	Regional	Markt	Initiierung, Bauherrschaft, Finanzierung und Management des Projektes, Verbreitung der Erkenntnisse durch Vorträge
Weeber+Partner, Institut für Stadtplanung und Sozialforschung	Regional	Markt	Soziokulturelle Begutachtung des Projektes
EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik GmbH	Regional	Markt	Technische Begutachtung des Projektes
ImmoTherm GmbH,	Regional	Markt	Energieerzeugung (Planung und Umsetzung)
Kehl Fuhrmann Hezinger & Volpp Rechtsanwälte	Lokal	Markt	Zivilrechtliche Begutachtung des Projektes
Stadtverwaltung Stuttgart	Lokal	Öffentliche Hand	Initiierung eines Nachhaltigkeitskonzeptes für das Rosensteinviertel
Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi), für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) sowie für Bildung und Forschung (BMBF)	National	Öffentliche Hand	Schaufenster Elektromobilität der Bundesrepublik Deutschland
Landesagentur für Innovation und Brennstoffzellentechnologie (e-mobil BW)	Regional	Öffentliche Hand	Finanzierung von Forschung und Umsetzung von Elektromobilitätskonzepten (durch Living Lab BWe mobil)
Stadtmobil	National	Markt	Carsharing Anbieter der Elektroautos im Wohnquartier

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen ermöglichen und fördern Innovation und Nischenbildung, die Anbindung der Innovation an den Kontext und die Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation.

Durch transformative Handlungen haben die Akteure in der Stadt Stuttgart die Verbindung von Wohnen, Stromerzeugung und Mobilität initiiert, entwickelt und setzen es derzeit in die Realität um. Da das Vorhaben sich noch in der Umsetzung befindet, umfasst der bisherige Entwicklungspfad hauptsächlich Handlungen zur Innovation und Nischenbildung.
Durch Handlungen zur Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung wurde das Konzept zu nachhaltigem Wohnen und E-Mobilität in einem umfassenden Prozess entwickelt. Zu Beginn des Entwicklungspfades wurden die Umbauarbeiten, welche das Stadtbild durch das Projekt „Stuttgart 21“ nachhaltig verändern werden, als Möglichkeit ergriffen um einen gesamten Stadtteil (das Rosensteinviertel) neu zu planen. Schon früh in diesen Planungen hat die Stadtverwaltung die Entwicklung von nachhaltigen Infrastrukturen als eine Grundlage für die weiteren Planungen identifiziert. Dies wurde bestärkt durch das wachsende politische und gesellschaftliche Interesse an der Erschließung alternativer Energiequellen, was sich besonders durch das verstärkte Bestreben nach einer Energiewende in den frühen 2000er Jahren zeigte. In der ersten Phase der konkreten Planungen der Infrastrukturkopplung im Rosensteinviertel ermöglichten die durch „Schaufenster Elektromobilität“ bereitgestellten Fördergelder einen finanziellen Rahmen – und somit einen Raum für die involvierten Akteure – um das Wohnbauvorhaben unter geringerem wirtschaftlichen Druck zu planen, als es sonst möglich gewesen wäre. Durch die die Landesagentur „e-mobil BW“ wurde ein Netzwerk mit dem Stuttgarter Siedlungswerk initiiert um nachhaltiges Wohnen mit Elektromobilität in einem Konzept zu integrieren. Das Siedlungswerk konnte dieses Konzept an die bestehenden Planungsarbeiten zu einem Wohnbauvorhaben im Rosensteinviertel anknüpfen. Ein wesentlicher Aspekt der Ausarbeitung der Innovation bestand darin, das Mobilitäts- und Elektrizitätskonzept im Viertel umfassend begutachten zu lassen, bevor es in die Realität umgesetzt wurde (was mutmaßlich eventuelle Fehler vermied). Für die weitere Ausarbeitung des Konzeptes wurde ein Netzwerk mit dem Siedlungswerk als zentralen Akteur gebildet. Dieses Netzwerk wuchs langsam an, und umfasst nun von den Gutachtern bis zu den direkten Partnern in der Umsetzung (Stadtmobil und ImmoTherm) viele Akteure, welche bei womöglich auftretenden Problemen in der Zukunft mit ihrer Expertise zur Seite stehen können. Zusammen mit den Gutachtern wurde ein umfassendes neuartiges Konzept entwickelt, welches Stromerzeugung und Elektromobilität in einem Wohnraum integriert. Bei der Ausarbeitung des Konzeptes konnte auf die zunehmende Nischenentwicklung zur Elektromobilität zurückgegriffen werden: Auch wenn es zur Zeit noch einige Nachteile von Elektroautos gegenüber herkömmlichen Automobilen gibt (zum Beispiel die Reichweite), sind sich sowohl die breitere Gesellschaft als auch die Wissenschaft und Politik über die Zukunftstauglichkeit der Technologie einig (Welz 2016, mündlich).
Durch Handlungen zur Anbindung der Innovation an den Kontext wurde die Infrastrukturkopplung an bestehende sozio-kulturelle Nachfrage, technische Begebenheiten und institutionelle Rahmenbedingungen angebunden. In dem Fall dieses Wohnbauvorhabens wurde der Kontext an die Innovation angepasst: Obwohl das Konzept weitestgehend mit bestehenden Gesetzen vereinbar war, gab es einen besonderen Reibungspunkt mit der bestehenden Landesbauordnung (die Stellplatzproblematik, siehe oben). Diese wurde (unter anderem motiviert durch das öffentlich-rechtliche Gutachten für das Wohnquartier) so abgeändert, dass

das Wohnbauvorhaben ohne weitere rechtliche Hürden realisierbar geworden ist. Auf der Managementebene mussten organisatorisch keine Änderungen vorgenommen werden, da das Siedlungswerk die Koordination weitestgehend selbst übernahm. Einzig die Verträge mit ImmoTherm und Stadtmobil stellen eine Anpassung dar: Diese Contracting- (ImmoTherm) und Sponsoringverträge (Stadtmobil) ermöglichen die Einbindung von erfahrenen Anbietern von nachhaltiger Elektrizität und Elektromobilität.
Handlungen zur Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation dienen dazu, gesellschaftliche und politische Unterstützung für und Nachfrage nach der Infrastrukturkopplung zu schaffen. Zum einen wurde das Wohnbauvorhabens im Rosensteinviertel durch die Teilnahme an dem „Schaufenster Elektromobilität“ Programm als Modellvorhaben gefördert und vermarktet. Unter anderem wurden dadurch auch andere Kommunen im Umkreis aufmerksam auf diese Infrastrukturkopplung und fragen ähnliche Vorhaben beim Siedlungswerk an (Welz 2017, mündlich). Auch nach Ende des eigentlichen Förderprogramms wird das Wohnbauvorhaben weiterhin von Mitarbeitern des Siedlungswerkes durch Vorträge beworben und die Idee dieser Infrastrukturkopplung weiterverbreitet (Welz 2017, mündlich). Die frühe Inbetriebnahme der Carsharing Station vor Fertigstellung des Baus hat das Potenzial, Kunden von Stadtmobil an das Grundstück zu bringen.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen zeigen sich in strategischer Richtungssetzung, skalen- und ressourcenübergreifenden Meditation und dem Setzen von Rahmenbedingungen um Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren. Durch diese Handlungen wurde die Infrastrukturkopplung mit den städtischen umweltpolitischen Zielen und Projekten zu Energie und Klimaschutz verknüpft, Akteure miteinander in Verbindung gebracht und politische Rahmenbedingungen für die Finanzierung der Wohnanlage und deren Vermarktung nutzbar gemacht.
Handlungen für die strategische Richtungssetzung waren vor allem bezüglich des Status der Wohnanlage relevant: Das Wohnquartier ist innerhalb der umwelt- und klimapolitischen Strategie sowohl des Bundes als auch des Landes Baden-Württemberg als Modellprojekt positioniert, welches die Möglichkeiten der Nutzung von Elektromobilität erproben möchte. Weiter ist die Wohnanlage auch innerhalb des weitreichenden Bestrebens der Stadt angesiedelt, in der Zukunft eine klimaneutrale, saubere Stadt Stuttgart zu gestalten. Dies ist vor allem wegen der Kessellage der Stadt schon lange ein Anstreben der Stadt gewesen, da die verunreinigte Luft besonders in Stuttgart merkbare Auswirkungen hat (Welz 2016, mündlich).
Handlungen zur skalen- und ressortübergreifenden Mediation wurden vor allem von e-mobil BW in der ersten Phase der Planung der Infrastrukturkopplung unternommen, um Verbindungen zwischen unterschiedlichen Akteuren herzustellen, welche vorher keinen direkten Kontakt hatten. So kooperierte e-mobil mit dem Siedlungswerk, um passende Wohnbauvorhaben und Grundstücke für die Infrastrukturkopplung zu identifizieren. Weiter wurden durch die involvierten Gutachter Kontakte mit existierenden Organisationen, welche sich auf die verschiedenen involvierten Infrastrukturen (Mobilität und Stromerzeugung) spezialisiert haben, identifiziert und anschließend von dem Siedlungswerk kontaktiert (diese Verbindungen/Kooperationen gab es

vorher teilweise noch nicht). Weiter wurden durch die Gutachten auch mögliche spätere Kundengruppen identifiziert, welche nach Fertigstellung des Wohnquartiers gezielt beworben werden können. Nach der Initialisierungsphase operierte das Siedlungswerk dann weitestgehend eigenständig und Handlungen dieser Art nahmen ab.
Das Setzen, beziehungsweise Nutzen, von Rahmenbedingungen war eine hinsichtlich der Planung der Anlage eine wichtige Handlung. In der Initialisierungsphase wurde die Koordination der bundesweit ausgeschriebenen Förderung der Elektromobilität in Deutschland (Schaufenster Elektromobilität) durch die e-mobil BW GmbH zentralisiert und dadurch ein optimaler Zugriff auf Expertise und finanzielle Mittel gewährleistet.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastrukturkopplung durch ihren Entwicklungspfad zu einer Nachhaltigkeitstransformation. Durch die funktionalen und geographischen Grenzen ist die Frage nach der Nachhaltigkeitstransformation auf die Stromerzeugung und Mobilität in der Stadt Stuttgart begrenzt. Hierzu beschreiben wir zuerst den Beitrag des Wohnquartiers zur Nachhaltigkeit und anschließend das transformative Potenzial und/oder die transformative Wirkung der Wohnsiedlung.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag des Rosensteinviertels in Stuttgart wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.
Das Ziel des Wohnbauvorhabens in Stuttgart ist es, das Potential von integrierten Mobilitäts- und Energieerzeugungskonzepten effizient nutzbar zu machen. Das Angebot des Car-Sharings in der Wohnanlage hat das Potenzial, einen Teil des Mobilitätsbedarfs der Bewohnerinnen und Bewohner zu decken und somit den Kauf weiterer (konventionell betriebener) Automobile zur ersetzen. Das Angebot hat eine positive Auswirkung auf die Lebensqualität der Bewohnerinnen und Bewohner, da durch das Mobilitätskonzept eine einfachere und nachhaltigere Mobilität im Stadtraum Stuttgart gewährleistet wird. Da das Wohnbauvorhaben noch nicht fertig gestellt ist, lassen sich noch keine Angaben dazu machen, ob dieses Ziel erreicht wurde. Allerdings hat der Planungs- und Bauprozess der Wohnanlage bis jetzt einen Beitrag zu größerer Nachhaltigkeit in Deutschland beigetragen: Das Konzept wird schon bei anderen Kommunen beworben und hat insgesamt das Interesse an einer solchen Kopplung erhöht (Fischer 2017 mündlich). Die Leistungsfähigkeit der Anlage wurde besonders durch die folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Alle Technologien, die vor Ort verwendet wurden sind technisch erprobt und gelten als weitgehend wartungsarm.
- Die Stromspeicherung stellt zurzeit noch ein technisches Problem dar, da Batterien noch nicht sehr effizient in der Stromspeicherung sind, was zu Verlusten führt.
- Durch die Sponsoringverträge mit ImmoTherm und Stadtmobil ist eine ständige Versorgung mit Elektrizität als auch Mobilität gewährleistet: Bei Ausfällen bei den

Elektroautos oder der Stromanlage müssen die Vertragspartner eine weitere Versorgung der Bewohnerinnen und Bewohner mit dem Service gewährleisten.
- Die Nutzung des lokal erzeugten Stroms ist begrenzt, da dieser nicht an die Bewohnerinnen und Bewohner weiterverkauft werden darf.

Die soziale und ökonomische Verträglichkeit ist durch die (zu erwartende) geringe nutzerseitige Anpassungsnotwendigkeit für die Inanspruchnahme von Carsharing vermutlich gegeben. Es wird abgewartet werden müssen, wie oft das Car- und Bikesharing von Anwohnern benutzt wird. Die langfristige ökonomische Verträglichkeit der Wohnanlage wird sich erst in Zukunft zeigen können, wenn der Bau fertiggestellt sein wird. Sollte der Verkauf der Wohnungen erfolgreich sein, könnte die Infrastrukturkopplung für die beteiligten Partner (Siedlungswerk, Stadtmobil und ImmoTherm) ein rentables zukünftiges Geschäftsmodell darstellen. Folgende Einflussfaktoren kamen hier zum Tragen:

- Laut des durchgeführten sozialwissenschaftlichen Gutachtens (Steffen und Schork 2013) ist zu erwarten, dass bei den zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohnern der Anlage eine nutzerseitige Nachfrage nach Elektromobilität bestehen wird.
- Besonders das Stromerzeugungskonzept hat keine nutzerrelevanten Implikationen, da es nicht in Nutzerverhalten (der Bewohnerinnen und Bewohner) eingreift.
- Die Umsetzung der Kopplung erfordert keine direkte nutzerseitige Investition der Bewohnerinnen und Bewohner, da ein großer Teil der Technologien durch die Fördergelder von „Schaufenster Elektromobilität“ und das Siedlungswerk finanziert ist. Indirekt müssen die Käufer über einen etwas höheren Kaufpreis (mutmaßlich) einen Teil der Kosten tragen.
- Da vor allem Zweitautos zum größten Teil der Zeit stillstehen, hat das Angebot von Carsharing (und Bikesharing) das Potenzial, die Kosten für individuelle Mobilität der Bewohnerinnen und Bewohner zu senken: Anstatt sich ein zweites Auto zuzulegen, können Nutzerinnen und Nutzer nun auf das vergleichsweise preiswerte Mieten von Autos verlassen.
- Auch für die beteiligten Partner (Siedlungswerk, Stadtmobil und ImmoTherm) bietet das Wohnbauvorhaben ökonomische Potenziale: Sollte sich das Konzept als erfolgreich beweisen, bietet es den Partnern ein neues Geschäftsmodell. Zur selben Zeit werden die meisten rechtlichen Hürden zunehmend beseitigt, was dieses Geschäftsmodell weiter begünstigt.

Das Wohnquartier hat das Potenzial zur Ressourcenschonung und Ressourceneffizienz beizutragen. Durch das Begünstigen der Nutzung von Elektromobilität durch Carsharing und vorhandenen Steckdosen bei den Stellplätzen verringern sich die Chancen, dass sich Bewohnerinnen und Bewohner mit konventionellen Autos fortbewegen (weniger Ölverbrauch). Auch wird durch das Carsharing die Notwendigkeit zum Kauf eines Autos erniedrigt, was potenziell in geringeren Autokäufen (und Ressourcenschonung) resultiert. Weiter trägt die verstärkte Nutzung von Elektromobilität dazu bei, die Feinstaubbelastung in Stuttgart zu verringern. Durch die Erzeugung und Nutzung von regenerativer Energie erniedrigt sich der

Bedarf der Wohnanlage an herkömmlich erzeugter Elektrizität aus Kohle und Gas. Allerdings ist die Möglichkeit der Ausweitung der nachhaltigen Stromerzeugung durch die begrenzte Dachfläche limitiert. Der Beitrag an Ressourcenschonung und -effizienz wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die Verfügbarkeit tragfähiger und nachhaltiger Technologien für regenerative Energiegewinnung und Elektromobilität.
- Die Möglichkeiten der Solarstromerzeugung sind durch die relativ kleinen Dachflächen der Gebäude begrenzt, daher ist eine Ausweitung der Stromerzeugung innerhalb des Wohnquartiers problematisch.

Da das Wohnquartier nach wie vor an das städtische Stromnetz angeschlossen ist, sind keine Probleme bei der Versorgungssicherheit im Kontext wetterbedingter Störungen zu erwarten. Durch die lokale Erzeugung des Stroms ergibt sich eine lokale, begrenzte Unabhängigkeit des Wohnquartiers von der restlichen Stromversorgung der Stadt Stuttgart. Ein Nachteil der Planung ist allerdings, dass der regenerativ erzeuge Strom zurzeit nicht für die Privathaushalte nutzbar gemacht werden kann. Der Beitrag der Anlage zur Versorgungssicherheit wurde durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die Stromlieferung für die Elektrofahrzeuge ist durch den Anschluss an das städtische Stromnetz sogar bei Defekt der Stromerzeugungsanlage vor Ort gegeben. Somit verringert sich die Störanfälligkeit der Fahrzeugflotte.
- Der erzeugte Strom kann nicht in den Privathaushalten verwendet werden, sondern nur zur Gebäudeunterhaltung und den Betrieb der Elektrofahrzeuge. Da die Privathaushalte an das öffentliche Stromnetz angebunden sind, verringert sich die Dependenz der Bewohnerinnen und Bewohner an die Stromerzeugungsanlage.
- Die Hinzufügung eines Stromspeichers erhöht weiter die Energiesicherheit für den Betrieb der Fahrzeuge und der Gebäudeunterhaltung.

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das Transformative Potential und die Transformative Wirkung der Wohnanlage sind daran festzumachen, inwieweit durch die Anlage das dominante Regime der Stromerzeugung und Mobilität innerhalb der Stadt Stuttgart, das heißt auf lokaler Ebene, in Frage gestellt, verändert und/oder ersetzt wird beziehungsweise werden kann. Die Infrastrukturkopplung bietet das Potenzial, durch das Bereitstellen von Elektroautos und Pedelecs und das (möglicherweise) Begünstigen der Anschaffung eines Elektroautos im Gegensatz zu einem herkömmlich betriebenen Fahrzeug, die übermäßige Nutzung fossiler Brennstoffe zu begrenzen und den Ausstoß von Treibhausgasen zu begrenzen. Die lokale Stromerzeugung aus regenerativen Quellen trägt weiter zu diesem Ziel bei. Die Kopplung kann so an einer nachhaltige(re)n Energieversorgung und -nutzung und Mobilität in Stuttgart beitragen. Die angestoßenen Veränderungen können sowohl physischer Natur (zum Beispiel die vorhandene Energieinfrastruktur), sozialer Natur (durch geändertes Nutzerverhalten: zum Beispiel E-Carsharing anstatt von ölbetriebenen Automobilen im Privatbesitz) als auch organisatorischer Natur (zum Beispiel durch die Identifikation von möglichen Synergieeffekten einer

intersektoralen Kooperation verschiedener Partner wie Forschungsinstituten, Immobiliengesellschaften, Strom- und Carsharinganbietern) sein.
Die transformative Wirkung der Wohnanlage ist bisher begrenzt, da der Bau des Quartiers noch nicht vollständig umgesetzt worden ist. Allerdings haben die Gutachten während der Planungen schon zu Änderungen in der Regulierung geführt. Die Änderung der Landesbauordnung durch den Landtag in Baden-Württemberg wurde (unter anderem) durch Konsultation mit e-mobil BW begünstigt.

Das transformative Potenzial der Anlage wurde durch die folgenden Faktoren geprägt:

- Die Kopplung integriert Nischentechnologien (lokale, regenerative Stromerzeugung und Elektromobilität) in den Wohnraum von Nutzerinnen und Nutzern und macht diese Technologien somit einfacher nutzbar und besser verfügbar (Abbauen von Nutzungs-Barrieren). Den Nutzerinnen und Nutzern wird somit ein Anreiz geboten, jetzige Regimetechnologien (zum Beispiel Diesel- und Benzinautos) weniger (oder überhaupt nicht) zu gebrauchen.
- Das Vorhaben zielt auch darauf, Nutzerverhalten zu verändern. So sollen zum Beispiel die elektrischen Pedelecs Nutzerinnen und Nutzer dazu bewegen, für kurze Wege innerhalb der Stadt auf ihr Auto zu verzichten und öfters nachhaltige Mobilitätsmittel zu gebrauchen.
- Das Konzept wurde als Modellprojekt gefördert und wird somit neuen Wohnungsbauvorhaben sowohl auf Landes- als auch auf Bundesebene als Vorbild dienen. Somit können die verwendeten Technologien bei erfolgreicher Erprobung auch bei anderen Wohnbauvorhaben zum Einsatz kommen und können etablierte Technologien im Regime in Frage stellen und/oder ablösen.
- Alle Gutachten und viele Planungsschritte sind öffentlich verfügbar und können somit einfach bezogen werden. Dies erhöht die Chancen, dass Erkenntnisse dieses Bauvorhabens auch in anderen Projekten zur Anwendung kommen werden.

Allerdings wird das transformative Potenzial auch vermutlich durch die begrenzte Radikalität der Kopplung begrenzt:

- Es werden weiterhin herkömmlich betriebene Autos von den Anwohnern verwendet, da nach wie vor Stellplätze für diese Autos zur Verfügung stehen. Weiterhin können die Bewohnerinnen und Bewohner den lokal erzeugten Strom aus rechtlichen Gründen nicht selber verwenden, sondern beziehen den Strom für die Wohnungen nach wie vor über das öffentliche Stromnetz.

Die Erkenntnisse aus den Planungen werden vor allem durch das Siedlungswerk und e-mobil BW in verschiedenen Kreisen verbreitet. Dies kann in Zukunft zu einem Umdenken bei Kommunen, Städteplanern und Privatunternehmen führen, wenn weitere Wohnquartiere geplant werden. Elektromobilität ist nach wie vor eine Nischentechnologie, welche sich allerdings immer mehr etabliert und eine wettbewerbsfähige alternative zur Regimetechnologie (öl- und

gasbetriebene Fahrzeuge) darstellt. Durch die praktische Erprobung der Technologie kann die Etablierung weiter fortgetrieben werden.

5 Fazit

Die Fallstudie zur Infrastrukturkopplung in der Wohnanlage im zukünftigen Rosensteinviertel in Stuttgart bietet viele Einsichten in den Planungsprozess einer solchen Kopplung – das heißt Initialisierung, Planung und Umsetzung des Vorhabens. Da das Bauvorhaben noch nicht abgeschlossen ist, lassen sich noch keine Aussagen über den Unterhalt und den Erfolg der Anlage sagen. Trotzdem können Aussagen sowohl zu den Einflussfaktoren, den Akteursprozessen und über den Beitrag der Kopplung an einer Nachhaltigkeitskopplung getroffen werden.

Die Anlage wurde 2008 als Nischenprojekt in Planung genommen, um Elektromobilität (ab 2012) unmittelbarer für Bewohnerinnen und Bewohner nutzbar zu machen und direkt durch eine eigene Stromerzeugungsanlage zu laden. Die Wohnanlage trägt zur Ressourceneffizienz, verminderter Nutzung von fossilen Energieträgern und reduziert Emissionen sowohl von der Gebäudebetreibung als auch von den Elektrofahrzeugen. Durch die lokale Energieerzeugung kann die Wohnanlage einen (begrenzten) Beitrag zur einer lokalen Transformation zu einer nachhaltigen Energieversorgung und -nutzung leisten. Obwohl die Kopplung vor allen technischer Natur ist, nimmt sie auch Einfluss auf soziale Aspekte von Nutzerinnen und Nutzern. Vor allem das Carsharing ist für viele Nutzerinnen und Nutzer noch ungewohnt und erfordert daher eine nutzerseitige Gewöhnung an das Konzept.

Der Entwicklungspfad wurde von verschiedenen Einflussfaktoren und dem Umgang mit diesen durch Akteure geprägt. Zu Beginn war das Zusammenwirken von lokalen sozio-kulturellen Faktoren und gesellschaftlichen Metafaktoren, welche zu Nachfrageveränderungen hinsichtlich einer umweltfreundlicheren und ressourceneffizienteren Energieversorgung geführt haben. Dieses Umweltbewusstsein und die breitere Nischenentwicklung zur Elektromobilität wurden vom Siedlungswerk und e-mobil BW aufgegriffen und zu einem Wohnkonzept entwickelt. Auf die Planung und Umsetzung der Anlage wirkten sich maßgeblich die Fördergelder durch Schaufenster Elektromobilität aus. Auch wenn das Siedlungswerk die Wohnanlage auch ohne die Fördergelder gebaut hätte, war das Elektromobilitäts- und Stromerzeugungskonzept anfangs nicht vorgesehen. Durch die die Aussicht auf Förderung durch Schaufenster Elektromobilität kamen e-mobil BW und das Siedlungswerk zusammen auf die Idee, Elektromobilität und Wohnungsbau miteinander zu kombinieren. Allerdings waren Regierungs- oder Kommunenvertreter nicht wesentlich in die Planungen der Wohnanlage informiert: Die Stadt wurde durch das Siedlungswerk nur fortgehend informiert, nahm aber keinen Einfluss auf die Planungen (Welz 2017, mündlich).

Zum derzeitigen Stand der Wohnanlage lässt sich noch nicht viel sagen, da die Wohnungen noch nicht fertig gebaut und verkauft sind. Allerdings werden die Erkenntnisse aus den Planungen schon für weitere Planungen des Siedlungswerkes, unter anderem in Tübingen, verwendet. Weiter werden die Ergebnisse vom Siedlungswerk auf Messen und Konferenzen

weiterverbreitet und stoßen auf reges Interesse, vor allem bei Vertretern von Kommunen (Welz 2017, mündlich).
Zu Beginn der konkreteren Planungen gab es bei dem Konzept vor allem Problemen mit institutionellen Rahmen Problemen. So stellte die bestehende Landesbauordnung eine Hürde da, da dadurch die Stellplatzproblematik in Verbindung mit dem Carsharing resultierte. Doch in dieser (anfänglichen) Problematik zeigt sich auch schon die transformative Wirkung der Wohnanlage, obwohl der Bau noch nicht abgeschlossen ist: Mittlerweile wurde die Landesbauordnung so abgeändert, dass Carsharing und Elektromobilität rechtlich ohne Probleme in neue Wohnanlagen integriert werden können – unter maßgeblichen Einfluss von e-mobil BW (Fischer 2017, mündlich). Allerdings bestehen nach wie vor rechtliche Probleme bei der Umsetzung ähnlicher Wohnkonzepte: Beispielsweise kann der lokal erzeugte Strom nur mit Einschränkung an die Bewohnerinnen und Bewohner verkauft werden.
Da die Bauphase noch nicht beendet ist, lässt sich wenig über den Beitrag der Anlage an einer breiteren gesellschaftlichen Nachhaltigkeitstransformation ableiten. Vor dem Hintergrund einer breiteren Nachhaltigkeitstransformation über den lokalen Kontext hinaus ist eine der zentralen Fragestellungen, wie auf größeren politischen Entscheidungsebenen weitere (lokale) Umsetzungen gefördert werden können und werden. Zentral dabei ist auch die öffentliche Meinung über Elektromobilität: Zum einen führt der jetzige niedrige Ölpreis dazu, das Elektromobilität mit der finanziellen Rentabilität im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen zu kämpfen hat (Fischer 2017, mündlich). Gleichzeitig führen die Diskussionen über die Zukunft des Dieselmotors auch dazu, dass Handlungdruck besteht, alternative Formen der Fortbewegung zu finden und zu fördern.

6 Quellenverzeichnis

Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung (2014: Sachstände zum Europa- und Rosenstein-Viertel. Landeshauptstadt Stuttgart.

Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung Stuttgart (2005): Rosenstein Viertel Realisierungswettbewerb 2005. Landeshauptstadt Stuttgart. http://www.bahnprojekt-stuttgart-ulm.de/uploads/tx_smediamediathek/2005-Rosensteinviertel-Realisierungswettbewerb.pdf. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Backhaus, Oliver, Henning Döther, und Thomas Heupel (2011): Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory? Entstehungsgeschichte, Marktanalyse 2010 und Zukunftspotenziale der Elektromobilität. 19. ild Schriftreihe Logistikforschung. Essen: FOM Hochschule für Oekonomie & Management. https://www.fom.de/download/500-FOM_ILD_Arbeitspapier_Bd19_Online_01.pdf. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Büchner, Hans (2013): Wohnen und Elektromobilität im Rosensteinviertel Stuttgart öffentlich-rechtliche Rahmenbedingungen. Siedlungswerk GmbH/Rechtsanwälte Eisenmann Wahle Birk & Weidner.

EGS-plan (2014): Wohnen und Elektromobilität im Rosensteinviertel Stuttgart Erzeugung und Bereitstellung der Energie zum Betrieb der Elektrofahrzeuge. Siedlungswerk GmbH.

e-mobil BW (2017): LivingLab BWe mobil - e-mobil BW. http://www.e-mobilbw.de/de/aufgaben/schaufenster-livinglab-bw-emobil.html. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Handelsblatt (2012): Strommix 2012: Ökostromanteil erreicht einen Rekordwert. http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/strommix-2012-oekostromanteil-erreicht-einen-rekordwert/7538188.html.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Landeshauptstadt Stuttgart (2003): Städtebaulicher Realisierungswettbewerb Strukturplan RosensteinViertel und Städtebaulicher Entwurf Teilgebiet C (Ausschreibung). http://www.rosenstein-

stuttgart.de/fileadmin/downloads/2000_Wettbewerb_Rosenstein/Anlage_00_Wettbewerbsauschreibung_und_Anlagen uebersicht/2003_1101_Wettbewerbsausschreibung.pdf. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Landeshauptstadt Stuttgart (2009a): Das Klimaschutzkonzept Stuttgart (KLIKS) - Stadt Stuttgart. https://www.stuttgart.de/kliks. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Landeshauptstadt Stuttgart (2009b): Für unsere Umwelt - Klima schützen, Ressourcen schonen, Energie sparen.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (BW) und Statistisches Landesamt (BW) (2014): Energiebericht 2012. http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Service/Veroeff/Querschnittsver!F6ffentlichungen/806114002.pdf. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Schaufenster Elektromobilität (2014): Über das Programm - Schaufenster Elektromobilität. http://schaufenster-elektromobilitaet.org/de/content/ueber_das_programm/foerderung_schaufensterprogramm/foerderung_schaufensterprogramm_1.html. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Schlecht, Jan-Philipp (2014): E-Mobilität in Stuttgart: Elektroautos boomen im Car-Sharing – und nur dort. stuttgarter-nachrichten.de. Juni. http://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.e-mobilitaet-elektroautos-boomen-in-stuttgart-im-car-sharing-und-nur-dort.591a728a-30ee-46b4-829f-b3feb8ebec70.html. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Siedlungswerk (2012): Rosensteinviertel Plan 1. https://www.siedlungswerk.de/files/wettbewerb/5611-8744-rosensteinviertel-plan-1.pdf. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Stadtmobil (2016): Neue Mobilität für das Rosensteinquartier : Details : Nachrichten : Aktuelles : Stuttgart : stadtmobil.de. März. http://stuttgart.stadtmobil.de/aktuelles/nachrichten/details/artikel/neue-mobilitaet-fuer-ein-neues-wohnquartier-kopie-1/. Aufgerufen am: 13.03.2017.

Steffen, Gabriele, und Caroline Schork (2013): Wohnen und Elektromobilität im Rosensteinviertel Stuttgart: Mobilitätsbedürfnisse künftiger Bewohnerinnen und Bewohner. Siedlungswerk GmbH/Webber+Partner Institut für Stadtplanung und Sozialforschung.

Volpp, Stefan (2014): Wohnen und Elektromobilität im Rosensteinviertel Stuttgart Zivilrechtliches Gutachten“. Siedlungswerk GmbH.

Welz, Christoph (2016): Rosensteinviertel Steckbrief. Schaufenster Elektromobilität.

WGBU (2003): Welt im Wandel - Energiwende zur Nachhaltigkeit (Hauptgutachten 2003). Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregoerung Globale Umweltveränderungen. http://www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2003-energiewende/.

6. Solardorf in Norderstedt

Autorinnen und Autoren: Steffen Maschmeyer[1], Alfred Olfert[3], Jörg Walther[4]

1 Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
2 Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus-Senftenberg
3 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden

1 Einleitung

In der Stadt Norderstedt in Schleswig-Holstein sollte Deutschlands erstes Solardorf errichtet werden. Eine Gruppe von Aktivisten, Unternehmern und Experten im Bereich nachhaltigen Bauens und regenerativer Energien aus Norderstedt und der Region entwickelten die Leitidee eines energieautarken Solardorfes mit dem Fokus auf eine intelligente Kopplung von Energie und Mobilität. Dieser Leitidee folgend sollte Energie aus regenerativen Quellen und zur Eigenversorgung in Hauskraftwerken (und ergänzt durch ein Quartiers-Blockheizkraftwerk) erzeugt, unter den Haushalten im Netzverbund getauscht und der Strom zum Aufladen von Elektrofahrzeuges verwendet werden. Der innovative Kern lag in der intelligenten, engen Verknüpfung dezentraler regenerativer Energiequellen und Speicheroptionen zu einem funktionellen Ganzen, das heißt einer Quartiersinfrastruktur, die einen funktionellen und finanziellen und Mehrwert gegenüber bisheriger Alternativen versprach (Koops 2017, mündlich; Röntgen 2017b, mündlich). Wohnkomfort und Mobilität sollten verknüpft und „im Alltag erlebbar" gemacht werden (Schilling 2017, mündlich). Das Solardorf war somit ein Zukunftsmodell für eine nachhaltige Energieversorgung von Haushalten sowie für eine nachhaltigere Ausrichtung (individueller) Mobilität.
Die Umsetzung dieser ursprünglichen Leitidee war jedoch mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert. Nach dem Scheitern der Umsetzung eines ersten Konzeptes („Sonnendorf Ossenmoor") in 2009 wurde die Leitidee in 2010 von einem externen Immobilienentwickler beziehungsweise Baugebietserschließer (Firma Schilling Immobilien aus Nordrhein-Westfalen) wieder aufgegriffen und unter dessen Führung wurde ein verändertes Konzept („goodnest Solardorf") entwickelt, welches schließlichab 2012 umgesetzt wurde. Das neue Konzept verfolgte die Leitidee eines zu 95% energieautarken Quartiers, basierend auf einem sogenannten „Solarpaket". Strom sollte über objektbasierte, private Photovoltaikanlage erzeugt und sowohl in Hausbatterien und Elektrofahrzeugen als mobile Speicher gespeichert werden. Elektrofahrzeuge sollten mit Solarstrom via bi-direktional-ladefähigen Ladeboxen an den jeweiligen Häusern beziehungsweise Hauskraftwerken (Photovoltaikanlage und Hausbatterien) gespeist werden und somit Elektromobilität vor Ort ermöglichen. Die Stromversorgung aus Photovoltaik sollte durch ein Quartiers-Blockheizkraftwerk ergänzt werden, welches das Quartier zusätzlich mit Nahwärme versorgt. Die Haushalte sollten untereinander durch ein eigenes Stromnetz verbunden werden, das den physischen Austausch von Strom (zwischen Haushalten sowie Elektrofahrzeugen) ermöglicht und intelligent steuert (Smart-Grid). Technisch ergäbe sich

die Infrastrukturkopplung somit durch Installationen am Haus (objektbasierte Installationen) und durch quartierseigene Insel-Netze für Strom und Wärme; rechtlich durch eine Verpflichtung zum Solarpaket, unter anderem durch Festsetzungen im Bebauungsplan, die vertragliche Ausgestaltung der Kaufverträge sowie spezieller Lieferverträge für Strom und Fernwärme (Fischer 2017a und 2017b; Schilling 2017, mündlich). Im Laufe der Projektumsetzung konnte das Konzept jedoch nicht wie geplant umgesetzt werden und es wurden mehrere Kompromisse für eine eingeschränkte Umsetzung erarbeitet. Der heutige Stand entspricht der Umsetzung des letzten Kompromisses (Röntgen 2017a). Letztendlich umgesetzt wurde folgendes: Die Mehrzahl der Häuser des Quartiers verfügt über eine Photovoltaik-Anlage samt Speicher. Die Haushalte sind sowohl an das Stromnetz der Stadtwerke Norderstedt sowie an ein Blockheizkraftwerk der Stadtwerke aus einem benachbarten Wohngebiet, also an das städtische Fernwärmenetz, angeschlossen. Ein Smart-Grid wurde nicht installiert. Statt als selbst-verwaltete Insel-Netze betrieben zu werden, werden sowohl Strom- als auch Wärmenetze als öffentliche Stromnetze von den Stadtwerken Norderstedt übernommen (Übernahme Fernwärmenetze für September 2017 geplant). Bisher wird lediglich ein Elektrofahrzeug betrieben (Schilling 2017, mündlich; Röntgen 2017b, mündlich).

In Hinblick auf das Konzept des Solardorfes werden mehrere ambitionierte **Infrastrukturkopplungen** sowohl **intersektoral** – Energieversorgung und Transport in der Form von aus Hauskraftwerken gespeisten Elektrofahrzeuges – als auch **intrasektoral** – durch Stromerzeugung und Stromspeicherung in Hauskraftwerken (sowie laut Konzept in Elektrofahrzeugen als mobile Speicher) sowie durch Kraft-Wärme-Kopplung in einem Blockheizkraftwerk – verfolgt. Letztendlich umgesetzt wurde lediglich eine **intrasektorale Kopplung** von Stromerzeugung und Stromspeicherung in Hauskraftwerken, jedoch nicht in Elektrofahrzeugen. Die Kopplung von Stromerzeugung und Wärmeversorgung erfolgte nicht durch Errichtung eines Quartiers-Blockheizkraftwerkes, sondern durch den Anschluss an ein angrenzendes, öffentliches Blockheizkraftwerk. Aus technischer Sicht wurden die Voraussetzungen (durch Verzicht auf Smart-Grid jedoch nicht in vollem Funktionsumfang) für eine intersektorale Kopplung von Energieversorgung und Transport für Elektromobilität getroffen. Jedoch kann diese im Hinblick auf den Betrieb nur eines Elektrofahrzeuges im Quartier nicht als umgesetzt eingestuft werden.

Wir betrachten das Solardorf Müllerstraße in Norderstedt zum Zeitpunkt der Formulierung der Projektidee im Jahr 2006 als eine Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Sektoren Energieversorgung (Sub-Sektor: Kraft (Strom)) sowie Transport und Verkehr (Sub-Sektor: Fahrzeuge) in der Stadt Norderstedt. Der Analysefokus ergibt sich somit aus der Überschneidung der zeitlichen (Geburt Leitidee), geographischen (Stadt Norderstedt) und funktionalen (Energieversorgung sowie Transport) Systemeingrenzung und lässt sich folgendermaßen begründen. Bei dem Solardorf handelt es sich um eine räumlich begrenzte Infrastrukturlösung für ein neu-erschlossenes Wohnquartier, die jedoch im politischen und sozialen Kontext der gesamten Stadt Norderstedt zu betrachten ist. Es ist als Modellprojekt für innovative Stadtentwicklung mit besonderem Fokus auf Energieversorgung und Mobilität in urbanen Räumen zu betrachten, das zukünftig eine Transformation dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken in Norderstedt (sowie perspektivisch in anderen Kontexten und auf

anderen Skalen) unterstützen kann. Ferner ist die Funktionalität der Kopplung insbesondere in Relation beziehungsweise im Kontext der gesamten Stadt zu sehen (siehe beispielsweise Mobilität im städtischen Raum; Kopplung zwischen den Haushalten, dem Quartier und der Stadt) – daher stellt die Kopplung einen möglichen Beitrag an einer Transformation dar.
Die Leitidee war und ist äußert ambitioniert und interessant. Sie wurde explizit als ein Beitrag zur Erreichung von Umwelt- und Klimaschutzzielen entwickelt. Folgende Ziele führt der Entwickler auf:

- Förderung der Elektromobilität,
- Stromautarkes Leben,
- Entlastung der öffentlichen Stromversorgungsnetze,
- Hohe Einsparung von Primärenergie,
- Hohe Einsparung an Schadstoffen (CO_2, NO_x etc.) (Schilling Immobilien 2017).

Mit besonderem Fokus auf das Nachhaltigkeitspotential zeichnet sich die Leitidee durch einen lokalen Zusammenschluss dezentraler regenerativer Energiequellen (Photovoltaik-Anlagen), Speicheroptionen (Stromspeicher sowie Akkumulatoren in Elektrofahrzeugen) und Verteilnetze in einem hybriden Netz, dass mithilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien auf Quartiers-Ebene zur Sicherung einer größtmöglichen Autarkie sowie effizienter Energieproduktion und -Nutzung vor Ort intelligent gesteuert wird. Insbesondere durch die enge funktionale Verknüpfung von Infrastrukturkomponenten und Funktionalitäten hin zu einem dezentralisierten Energieversorgungssystem hat das Solardorf das folgende **Nachhaltigkeitspotential**:

- Einsparung von Emissionen durch Energieproduktion aus regenerativen Energien,
- Einsparung von Primärenergie durch enge Verknüpfung und intelligente Steuerung von dezentralen regenerativen Energiequellen und Speicheroptionen,
- Förderung der lokalen Energiesicherheit hin zur Energieautarkie, insbesondere in Hinblick auf Preisstabilität,
- Entlastung und verminderte Abhängigkeit von öffentlichen Infrastrukturen der Energie-produktion, -speicherung und -verteilung,
- Integration (und explizite Skalierung) von Energieproduktion und -verbrauch im Alltagsumfeld von Nutzerinnen und Nutzern und somit Anreiz für energiesparendes Nutzerverhalten,
- Dauerhaft kostendeckende Energiebereitstellung.

Aufgrund der erheblichen Abweichungen der Umsetzung von dem ursprünglichen Konzept wird das Nachhaltigkeitspotential nicht voll ausgeschöpft. Der **Nachhaltigkeitsbeitrag** liegt daher in Folgendem:

- Objektbasierte, private Lösung für eine Kopplung von Stromerzeugung und -speicherung;
- Entlastung der öffentlichen Stromversorgungs- und Verteilungsnetze sowie Stromspeicher durch objektbasierte, private Anlagen (Hauskraftwerke);

- Einsparung von fossilen Brennstoffen sowie Emissionen durch (einen Teil der) Stromproduktion aus regenerativen Energien;
- Beitrag zur lokalen Energiesicherheit durch Komplementierung von objektbasierter, privater mit öffentlicher Stromversorgung.

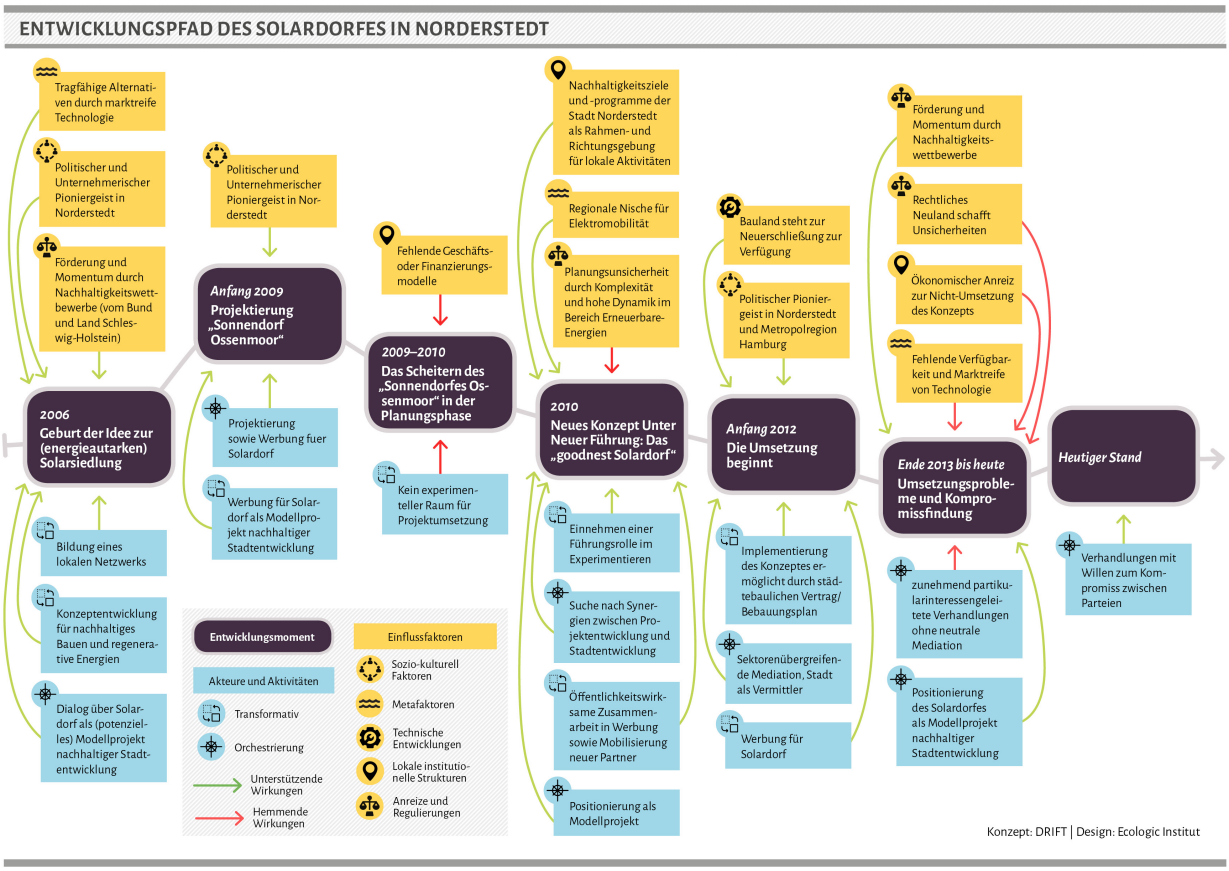
Über das Nachhaltigkeitspotential hinaus hat die Leitidee großes Potential, zu einer Nachhaltigkeitstransformation im Energieversorgungsystem beziehungsweise Transport- und Verkehrssystems in Norderstedt sowie darüber hinaus grundsätzlich zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung beizutragen. Der Fall zeichnet sich dadurch aus, dass laut Konzept explizit mehrere Infrastrukturkopplungen in einem geographisch abgegrenzten Raum (des Quartiers) erfolgen sollten, die zusammen eine dezentrale Energieversorgung für den Eigenbedarf zur Verfügung stellen. Die Leitidee hat folglich das **Transformative Potential**, transformative Prozesse sowohl auf physischer (Neubau beziehungsweise Umgestaltung der Energieinfrastruktur) als auch auf organisatorischer Ebene voranzutreiben. Erstens wird mit der Dezentralisierung von Infrastruktur, mit dem Quartier als neue organisatorische Einheit beziehungsweise Regelungsebene für eine Insel-Infrastruktur, sowie mit einer skalen-übergreifenden Kopplung (Haushalt, Quartier und Stadt) experimentiert. Zweitens wird Mobilität als integraler Bestandteil eines nachhaltigen Wohnkonzeptes in der Planung adressiert. Drittens werden Quartiersanwohner durch den Fokus auf Eigenversorgung zu Prosumenten von Energie. Folglich werden Elemente aus verschiedenen sozio-technischen Systemen auf innovative Weise verknüpft und mehrere Transformationen im Rahmen eines gemeinsamen lokalen Kontextes vorangetrieben.
Die **Transformative Wirkung** des Solardorfes entgegen liegt in erster Line in dem Lernen und der Wissensgenerierung aus dem Experimentieren mit (1) der Planung und Umsetzung einer explizit auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wohnquartiers, (2) der Dezentralisierung von Infrastruktur und einer neuen Regelungsebene „Quartier“ und (3) dem sich andeutenden Rollenwechsel von Anwohnern (zu Prosumenten von Energie) und Immobilien-/Baugebietsentwicklern (zu Infrastruktur-Entwicklern). Vor allem wurden durch die Offenlegung der Spannungen zwischen der Neuentwicklung von dezentraler Infrastruktur zur Eigenversorgung und bestehenden gesetzlichen RegelungenAnsatzpunkte für notwendige Strukturveränderung identifiziert.
Im Folgenden beschreiben und analysieren wir den Entwicklungspfad des „Solardorf Müllerstraße“ von der Idee bis zum heutigen Stand. Das Vorgehen folgt unserem Analyserahmen für TRAFIS Arbeitspaket 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf zwei Interviews mit involvierten Akteuren und Akteurinnen (siehe Anhang 2.5). Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung nachzuzeichnen.
Die empirische Datenerhebung erwies sich dabei als besonders herausfordernd, da Angaben über Konzept und Umsetzung lückenhaft waren und sich teilweise inhaltlich erheblich unterschieden. Es ist zu vermuten, dass sich diese Unterschiede aus verschiedenen Datierungen der Angaben (Änderungen ergaben sich häufig innerhalb weniger Wochen oder Monate) oder aus strategischen Gesichtspunkten seitens der involvierten Akteure ergaben.

Ferner wurden Informationen über die Herausforderungen in der Umsetzung aufgrund laufender Gerichtsverfahren sowie behördlicher Überprüfungen nur teilweise und verzögert zur Verfügung gestellt.
In Abschnitt 2 wird zunächst der Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung nachgezeichnet. In Abschnitt 3 analysieren wir die Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfades, indem wir den Fokus auf die systemischen Einflussfaktoren sowie akteurs-bezogenen Prozesse richten, die in der Entwicklung richtunggebend waren. Darüber hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Nachhaltigkeitsbeitrag und erörtern, wie die Infrastrukturkopplung potenziell zu einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann und tatsächlich beigetragen hat (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im Folgenden stellen wir das Solardorf Müllerstraße in Norderstedt von der Geburt der Leitidee bis zum heutigen Stand der Planung und Umsetzung anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomenten vor. Eine graphische Darstellung des Entwicklungspfads findet sich in Abbildung 13**.** Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Sektoren Energieversorgung und Transport in der Stadt Norderstedt. Wie in den folgenden Entwicklungsmomenten näher beschrieben wird, wurde das ursprüngliche Konzept eines energieautarken, ökologischen Quartiers in der Stadt sukzessive und von verschiedenen Akteuren weiterentwickelt. Nach dem Scheitern der Umsetzung des ersten Konzeptes („Sonnendorf Ossenmoor“) wurde das „goodnest Solardorf“ unter neuer Führung umgesetzt. Der Entwicklungspfad umfasst somit die verschiedenen Schritte von der ersten Konzeptentwicklung bis zur tatsächlichen Umsetzung und dem heutigen Stand.

Abbildung 13: Der Entwicklungspfad des Solardorfes in Norderstedt



2.1 Entwicklungsmoment #1: Geburt der Idee zur (energieautarken) Solarsiedlung: Das „Sonnendorf Ossenmoor" (2006)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Eine Gruppe aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus der Norderstedt und der Region schlossen sich zusammen, auf der Basis des gemeinsamen Wunsches, ein energieautarkes, ökologisches Quartier in der Stadt zu realisieren. Zu diesem Netzwerk zählten der Lokalpolitiker (B90/DIE GRÜNEN)und Aktivist Bernhard Luther, der Architekt Jakob Ripplinger, der Geschäftsführer der "SOLAR im NORDEN GmbH" Thomas Leidreiter sowie der Immobilienmakler Mario Schlichting. Sie erarbeiteten ein Konzept mit besonderem Fokus auf Energieversorgung aus regenerativen Energien und der Idee eines ökologischen, generationen-übergreifenden Dorfes in der Stadt.

In diesem Sinne sah das Konzept „Sonnendorf Ossenmoor" folgendes vor (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich):

- Ein Bauträger, der in flexibler Bauweise durch ein Baukastensystem mit ökologischen Baustoffen baut;

- Strom aus Photovoltaik auf Hausdächern, Wärme durch intelligente Luft-oder Wasserwärmepumpe in jeweiligen Häusern;
- Wohneigentümergemeinschaft organisiert sich und gründet eine „Genossenschaft“, um gemeinschaftlich Entscheidungen treffen zu können und beispielsweise gegenüber den Stadtwerken als Großverbraucher auftreten zu können;
- Elektrotankstellen im Plangebiet und Elektrofahrzeug Car-Sharing.

Wie im Verlauf des Entwicklungspfads deutlich werden wird, wurde das Konzept „Sonnendorf Ossenmoor“ neu aufgegriffen und inhaltlich verändert, insbesondere in Hinblick auf die Komplexität der Kopplung zwischen mehreren Infrastruktur-Komponenten durch ein Smart-Grid. Die Beschreibung des Infrastrukturprojektes innerhalb des sozio-technischen Systems bezieht sich somit notwendigerweise auf den gemeinsamen Kern beider Konzepte: die Umsetzung eines energieautarken Solar-Quartiers. Die Leitidee wurde von Ideenstiftern explizit als Beitrag zur Erreichung von Umwelt- und Klimaschutzzielen gesehen.

Die **Leitidee** eines energieautarken Solar-Quartiers mit dem Fokus auf eine intelligente Kopplung von Energie und Mobilität stellte **vier Innovationen im Vergleich zum bestehenden Regime zu Energieversorgung und Transport und Verkehr** in den Vordergrund:

- Energieautarkie beziehungsweise Schaffung einer dezentralen Quartiersinfrastruktur zur Eigenversorgung. Diese impliziert eine sowohl physische/technische als auch organisatorische „Insellösung“.
- Intelligente Verknüpfung von dezentralen Energiequellen und Speicheroptionen (für Wärme und Strom), das heißt der Erzeugung und des Verbrauchs auf Quartiersebene.
- Energieerzeugung aus regenerativen Energien.
- Intelligente Verknüpfung von Stromerzeugung aus regenerativen Quellen und Elektromobilität.

In diesem Sinne stellt die Leitidee das Energie und Transport-Regime in Frage. Zum einen waren Infrastruktur-Komponenten zum Zeitpunkt der Geburt der Idee technisch und organisatorisch getrennt. Aus funktionaler Perspektive lässt sich argumentieren, dass Energieversorgung (Stromerzeugung) und Transport in jeweils unterschiedlichen sozio-technischen Systemen samt unterschiedlicher Strukturen, Kulturen und Praktiken stattfanden. Eine Verbindung ergab sich aus der Tatsache, dass sowohl in der Energieversorgung als auch im Transport primär auf fossile Brennstoffe als Energiequelle zurückgegriffen wurde. Dementsprechend waren beide Systeme mit einem ähnlichen Optimierungsdruck konfrontiert: steigende Preise (speziell Kraftstoffpreise für Automobile seit 2003), Umweltproblematiken wie Klimawandel sowie die Entwicklung von und steigende Nachfrage nach Alternativen. Diese Alternativen waren bisher technisch noch nicht weit genug ausgereift, um beispielsweise mit konventionell betriebenen Autos konkurrieren zu können und eine flächendeckende Lösung darzustellen (Bundeszentrale für politische Bildung 2014 und 2015). Außerdem sind Energieerzeugung und -speicherung entweder grundsätzlich physisch und organisatorisch getrennt oder zumindest nicht wie in diesem Fallbeispiel objekt-basiert und privat (im

Wohngebiet oder Haushalt) gekoppelt. Zum anderen stellte die Infrastrukturkopplung eine Alternative zur dominanten Technologie und der damit verbundenen Versorgungsinfrastruktur dar: erstens durch die Verwendung von regenerativen Energiequellen statt fossilen Brennstoffen (e.g. für Fahrzeugbetrieb oder für Stromerzeugung in (Groß-)kraftwerken) und zweitens durch dezentralisierte Infrastruktur-Lösungen zum Eigenverbrauch, statt einer flächendeckenden Infrastruktur (e.g. Tankstellen-Netz und (Groß-)kraftwerke inklusive öffentlicher Netzte, landesweiter Verteilungsnetze und Speicher), als externe Dienstleistung und drittens durch Aufhebung der Trennung zwischen Energieproduzenten und Bürgern als Energiekonsumenten. Folglich ergab sich der Optimierungsdruck weniger aus Infrastruktur-inhärenten Problemen, als aus Marktentwicklungen und politischem Druck unter Bezug auf Umwelt- und Klimaschutzziele (siehe Energiewende). So kam es zu verstärkten Gründungs- und ForschungsHandlungen im Bereich regenerativen Energien sowie einem Bestrebungen für eine Demokratisierung und Dezentralisierung des Energiesystems (Sieverding & Schneidewind 2016).
Darüber hinaus ist die Leitidee nicht nur innovativ in Hinblick auf die Kopplung als Ergebnis, sondern auch in Hinblick auf den Prozess, eine solche Kopplung umzusetzen. Die Ausarbeitung der Leitidee im Konzept „goodnest Solardorf Müllerstraße“ legt auch ein innovatives, erweitertes Projektentwicklermodell zugrunde, das innovative Infrastruktur als integraler Bestandteil einer privaten Immobilienentwicklung fördert und bewirbt.
Die **Geburt der Idee** kann auch auf Standortfaktoren der Stadt Norderstedt zurückgeführt werden (dem geographischen System), die jedoch in den größeren Zusammenhang der Metropolregion Hamburg sowie breiterer gesellschaftlicher beziehungsweise politischer Entwicklungen (hier Landschaftsentwicklungen) gesetzt werden müssen. Die Stadt Norderstedt hat eine lange Geschichte als Pionier für Klimaschutzziele und nachhaltige Stadtentwicklung. Programme und Handlungen wurden mehrfach ausgezeichnet. Sie verfolgt eine Nachhaltigkeitsagenda als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen (Stadt Norderstedt 2017). Diese steht in engem Zusammenhang mit Entwicklungen der benachbarten Metropolregion Hamburg, die in Bezug auf Wirtschaft- und Technologiefortschritt positiv eingestellt ist. Aufgrund der Nähe und sozio-ökonomischen Interrelationen mit Hamburg besteht eine erhöhte Nachfrage (inklusive Kaufkraft) für nachhaltige Innovation (Koops 2017, mündlich; Schilling 2017, mündlich). Politischer und unternehmerischer Pioniergeist wächst. Insbesondere scheint sich eine Elektro-Mobilitäts-Nische zu entwickeln (Schilling 2017, mündlich).
Zweifelsohne müssen diese Entwicklungen in Relation zu Einflussfaktoren außerhalb des Systems betrachtet werden, speziell die Rahmengesetzgebung auf EU- und Bundesebene, und vor allem bezüglich der Energiewende, die neue politische Ziele, Diskurse und Märkte definierte. Ferner ergeben sich Anreize und Nachfrage für Innovationen aus einer breitere Nischenentwicklungen, sei es für regenerative Energien, Elektro-Mobilität oder nachhaltigem Bauen, die sich aus Technologie- und Marktentwicklungen (insbesondere Preisentwicklung im Technologiemarkt und Zinsentwicklung am Immobilienmarkt) sowie aus wachsendem Umweltbewusstsein und zivilgesellschaftlichem Umweltengagement in den Gesellschaften auf lokaler, über regionaler, nationaler bis globaler Ebene speisen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen: Politisches Interesse der Stadt an Umwelt- und Klimaschutzzielen vor allem in Rahmen nachhaltiger Stadtentwicklung; beispielsweise ist die Stadt erfolgreiches Mitglied im Klima-Bündnis europäischer Städte, reduzierte die CO_2-Emissionen Norderstedter Liegenschaften maßgeblich und richtete ein spezielles Agenda Büro für Handlungen im Rahmen der Agenda 21 ein (Stadt Norderstedt 2017a). Die Nachhaltigkeitsziele und -programme sind im Rahmen einer außerordentlichen politischen Kontinuität durch den langjährigen Oberbürgermeister Hans-Joachim Grote zu sehen (so war dieser zunächst Baudezernent (1995), später Bürgermeister (1998 und 2004) und seit 2005 Oberbürgermeister (Stadt Norderstedt 2017d).
- Politischer Pioniergeist in Norderstedt und der Metropolregion Hamburg: Insbesondere durch die Nähe und sozio-ökonomischen Interrelationen mit Metropolregion Hamburg wächst das Interesse am Experimentieren mit (technischen) Innovationen und einer Positionierung unter Deutschlands führenden Städten (Schilling, mündlich)
- Unternehmerischer Pioniergeist in Norderstedt und Metropolregion Hamburg: Interesse an und Erfahrungen aus unternehmerischer Tätigkeit im Bereich Solarenergie und nachhaltigem Bauen treiben die Ideenentwicklung und innovative Planung (Röntgen 2017a).
- Sozio-ökonomische Dynamik in der Metropolregion Hamburg: Aufgrund der Nähe und sozio-ökonomischen Interrelationen mit der Metropolregion Hamburg gehen in Norderstedt Interesse an Nachhaltigkeitsfragen mit überdurchschnittlicher Kaufkraft einher und generiert so Nachfrage (Schilling 2017, mündlich; Koops 2017, mündlich).
- Nachhaltigkeitsziele und Rahmengesetzgebung des Bundes sowie des Landes Schleswig-Holstein als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen: insbesondere die Aktionsprogramme Agenda 21 beziehungsweise Lokalen Agenda 21, das Energiewirtschaftsgesetz (Energiewirtschaftsgesetz) zur Liberalisierung des Strommarktes sowie das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) inklusive der diversen, bis heute andauernden Novellierungen schaffen einen Handlungsrahmen. Das EEG, das die Energiewende (Atomausstieg und ehrgeiziges Klimaschutzziele) beschloss und die Förderung regenerativer Energien unter anderem durch bevorzugte Einspeisung von Strom aus regenerativen Quellen ins Stromnetz inklusive Einspeisevergütung ermöglichte, ist besonders relevant (Bundeszentrale für politische Bildung 2014). Der Rahmen der Bundesebene wird komplementiert durch die Nachhaltigkeitsstrategie des Landes "Zukunftsfähiges Schleswig-Holstein" (Land Schleswig-Holstein 2017).
- Förderung und Momentum durch Nachhaltigkeitswettbewerbe von Bund und Land Schleswig-Holstein: Die Stadt Norderstedt ist vielfacher Preisträger, beispielsweise Climate Star“ 2002, „Energiesparkommune“ 2005, 3. Platz im Wettbewerb „Bundeshauptstadt im Klimaschutz 2006 und 2010, mehrmalig Preisträger in Energie-Olympiade des Landes Schleswig-Holstein (Stadt Norderstedt 2017d). Einerseits weist dies auf das Engagement der Stadt hin (siehe oben), andererseits zeigt dies, dass Nachhaltigkeitswettbewerbe umweltpolitisches Engagement fördern.

- Tragfähige Alternativen vorhanden durch marktreife Technologie: Preissenkung bei Photovoltaik-Komplett-Anlagen sowie Smart-Technologien (Smart-Grid, Smart-House), Serienproduktion von Elektrofahrzeugen, Nachfrage nach energiesparendem Bauen (Bundeszentrale für politische Bildung 2015).
- Steigende Umweltproblematiken (Ölkrise; Klimawandel): Das wachsende Bewusstsein für Umweltfragen treibt Umdenken in Richtung Nachhaltigkeit auf globalen bis lokalen Ebenen an (Bundeszentrale für politische Bildung 2011).
- Wachsendes gesellschaftliches Umweltbewusstsein und -engagement auf lokaler bis globaler Ebene: Zivilgesellschaftliches Interesse an Umweltproblematiken; alltägliches Engagement, soziale Bewegungen (Bundeszentrale für politische Bildung 2009).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Bildung eines lokalen Netzwerkes aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus der Norderstedt und der Region (Röntgen 2017a).
- Ideenentwicklung, Planung und Produktentwicklung: Interesse an und Erfahrungen aus unternehmerischer Tätigkeiten im Bereich Solarenergie und nachhaltigem Bauen treiben die Ideenentwicklung und Planung eines ambitionierten, innovativen Planungsvorhabens mit explizitem Ziel, einen Beitrag zur Erreichung von Umwelt- und Klimaschutzzielen zu leisten (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).
- Dialog zwischen Projekt-Team und der Stadt (Baudezernent Bosse): Austausch und Unterstützung in Konzeptausarbeitung (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich). Dieser bezog sich unter anderem auf die Wahl und Ausweisung eines geeigneten Baugebiets, rechtliche Fragen (zum Beispiel eine rechtliche Verpflichtung zur Umsetzung des Solarpaketes durch zukünftige Anwohner) sowie die Idee eines gemeinsamen Blockheizkraftwerkes für mehrere angrenzende Baugebiete.
- Fortentwicklung der Nachhaltigkeitsstrategie Norderstedts durch Stadtverwaltung (Baudezernent Bosse): Bestreben seitens der Stadt (sowohl Stadtregierung als auch -Verwaltung), sich unter den führenden Städten in Deutschland zu positionieren und Nachhaltigkeit als Standortvorteil nutzbar zu machen (Stadt Norderstedt 2017a). Die Verwaltung (unter Baudezernent und Erstem Stadtrat Bosse) handelt ausdrücklich politisch und entwickelt die städtische Nachhaltigkeitsstrategie durch konkrete Planungsvorhaben weiter und greift das Momentum für Nachhaltigkeit auf.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Projektierung „Sonnendorf Ossenmoor“ (Anfang 2009)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

In 2009 gründet das Netzwerk aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus Norderstedt und der Region die „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“, um das Konzept „Sonnendorf Ossenmoor“ umzusetzen. Die Umsetzung fokussierte sich in erster Linie auf die weitere Projektierung, insbesondere auf die Erschließung der Finanzierung. Schon seit 2006 war der Baudezernent und erste Stadtrat Thomas Bosse an der Idee eines energieautarken Solardorfes zur weiteren

Stärkung des Nachhaltigkeitsprograms der Stadt interessiert und fortan im Austausch mit dem Projektteam der „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ sowie mit weiteren Expertinnen und Experten aus dem Bereich nachhaltiges Bauen and regenerative Energien (zum Beispiel auf Messen) um Wege zu einer erfolgreichen Umsetzung zu erarbeiten. Es wurde insbesondere über Möglichkeiten, das Sonnendorf mit anderen stadtplanerischen Zielen zu verbinden (gemeinsames Blockheizkraftwerk in angrenzendem Wohngebiet), sowie über einen adäquaten rechtlichen Rahmen, der die Umsetzung des Konzeptes sicherstellt, diskutiert (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Unternehmerischer Pioniergeist in Norderstedt und der Metropolregion Hamburg: Die weitere Projektierung des Konzeptes wurde primär durch Eigeninitiative des Netzwerks aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus Norderstedt und der Region, mit dem Ziel ein innovatives Konzept zu realisieren, verfolgt. Offenbar wurde das Konzept als neues Geschäftsfeld angesehen (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).
- Politischer Pioniergeist in Norderstedt und der Metropolregion Hamburg: Insbesondere durch die Nähe und sozio-ökonomischen Interrelationen mit Metropolregion Hamburg wächst das Interesse am Experimentieren mit (technischen) Innovationen und an einer Positionierung unter Deutschlands führenden Städten.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Projektierung: weitere Planerische (Konzeptausarbeitung) sowie unternehmerische Tätigkeiten: insbesondere die Gründung „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ durch Netzwerk aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus Norderstedt und der Region (Bernhard Luther (Lokalpolitiker (B90/DIE GRÜNEN) und Aktivist), Jakob Ripplinger (Architekt), Thomas Leidreiter (Geschäftsführer der “SOLAR im NORDEN GmbH”) sowie Mario Schlichting (Immobilienmakler) gründen gemeinsame GmbH) als Startpunkt für weitere Werbung sowie Akquise von Finanzmitteln (Partner, Investoren, Kredite) Über die Schwerpunkte und Modalitäten der Konzeptausarbeitung liegen kaum Informationen vor. (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).
- Fortentwicklung der Nachhaltigkeitsstrategie Norderstedts durch Stadtverwaltung (Baudezernent Bosse): Bosse verfolgte offenbar das Ziel, durch Handlungen in seinem Zuständigkeitsbereich die Nachhaltigkeitsziele der Stadt voranzutreiben und Norderstedt so als Pionier auf dem Gebiet innovativer, nachhaltiger Stadtentwicklung zu positionieren. Das „Sonnendorf Ossenmoor“ wurde somit in Hinblick auf zukünftige Synergieeffekte unterstützt und explizit als Zukunftsmodel im Rahmen der Nachhaltigkeitsziele der Stadt beworben (Röntgen 2017b, mündlich).
- Dialog zwischen Projekt-Team und der Stadt (Baudezernent Bosse): Austausch und Unterstützung in Konzeptausarbeitung, Werbung und Akquise (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).

2.3 Entwicklungsmoment #3: Das Scheitern des „Sonnendorfes Ossenmoor“ in der Planungsphase (2009 – 2010)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Trotz aller Bemühungen des Projekt-Teams der „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ und der signalisierten Unterstützung der Stadt scheiterte das Vorhaben. Ein Zerwürfnis führte zur Trennung des Projekt-Teams und der Liquidierung der „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ (abgeschlossen in 2011) (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich). Darüber hinaus lässt sich argumentieren, dass das Scheitern auch in dem Versuch der „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ begründet liegt, das Konzept als klassische Wohngebietsentwicklung im Rahmen des Marktes und nicht in einem explizit experimentellen Rahmen zu realisieren, der bei einem solch ambitionierten Konzept sowie einer notwendigerweise experimentellen Umsetzung hätte unterstützend wirken können.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Fehlende Geschäfts- oder Finanzierungsmodelle führen zu fehlender unternehmerischer Nachfrage nach Leitidee: Die notwendigen Finanzmittel zur Umsetzung (Investoren, Kreditgeber) beziehungsweise finanzstarke Partner (beispielsweise Bauträger) konnten nicht gewonnen werden. Hier kann nur gemutmaßt werden, inwiefern das Scheitern der Akquise im Konzept, im Vorgehen bei der Akquise oder davon unabhängig im Investitionsklima (siehe Finanzkrise 2008) begründet liegt (Röntgen 2017b, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Unternehmerische Tätigkeiten: insbesondere Werbung sowie Akquise von Finanzmitteln und Partnern. Jedoch konnten interne Differenzen (zum Beispiel bezüglich der finanziellen Beteiligungen oder Modalitäten der Projektumsetzung) nicht durch ein starkes Projektmanagement aufgelöst werden und führten zum Zerwürfnis (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).
- Konzeptumsetzung als klassische Wohngebietsentwicklung im Rahmen des Marktes.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Neues Konzept Unter Neuer Führung: Das „goodnest Solardorf“ (2010)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
In 2010 übernahm die Firma Schilling Immobilien aus Nordrhein-Westfalen sowohl als Investor als auch als Projektleiter die Führung bei der Verfolgung der Idee eines Sonnendorfes in Norderstedt. 2010 stellt einerseits eine Zäsur da, da Schilling nur marginal auf das Konzept „Sonnendorf Ossenmoor“ aufbaute und sich die früheren Ideenstifter zurückzogen. Anderseits ist es auch eine Fortführung, da die Leitidee weiterentwickelt wurde und Nachfrage für das Konzept bereits signalisiert worden war (insbesondere von der Stadt). Das Ingenieurbüro „Energie- u. Systemtechnik Volker Stracker“ übernahm die technische Planung (Röntgen 2017a). Die Konzeptausarbeitung ging mit der Mobilisierung von weiteren Partnern einher,

beispielweise von Entwicklern und zukünftigen Lieferanten der jeweiligen technischen Komponenten (Module) des Solarpaktes oder von einem Immobilienentwickler, der das Konzept als alleiniger oder führender Bauträger umsetzen könnte Es ist zu vermuten, dass sich die Wahl der konkreten technischen Komponenten (der Module des Solarpakets) auch aus eben dieser Mobilisierung von Partnern beziehungsweise ergab. Das überarbeitete Konzept wurde schließlich in „goodnest Solardorf Müllerstraße“ umbenannt und enthält signifikante Änderungen im Vergleich zum Konzept „Sonnendorf Ossenmoor“ (Röntgen 2017a; Fischer 2017b).

Das „goodnest Solardorf“-Konzept unterschied sich vom Konzept „Sonnendorf Ossenmoor“ in den folgenden Punkten:

- Häuser sollen nicht von einem Bauträger, sondern von individuell bestellten Bauträgern erbaut werden (Grundstücke Architekten- und Bauträgerfrei).
- Um Kohärenz in der Umsetzung zu garantieren werden zukünftige Bewohnerinnen und Bewohner rechtlich, das heißt über die Grundstückskaufverträge und Dienstbarkeiten in Grundbüchern, zur Umsetzung des Konzeptes verpflichtet.
- Statt einer dezentralen Lösung auf Haushaltsebene für Heizung und Warmwasser (siehe intelligente Luft- oder Wasserwärmepumpe) wird Fernwärme, das heißt ein Anschluss an das städtische Blockheizkraftwerk, geplant.
- Statt Car-Sharing und Elektrotankstelle innerhalb des Quartiers werden je ein Elektrofahrzeug pro Haushalt als mobiler Speicher der Solarenergie der objektbasierten, privaten Photovoltaik-Anlagen sowie objektbasierte, private bi-direktionale Ladestationen vorgesehen.
- Das „goodnest Solardorf“-Konzept stellt die intelligente Vernetzung einzelner Infrastruktur-Komponenten im Sinne einer physischen und steuerungstechnischen Interaktionen in den Vordergrund: Ein quartierseigenes Smart-Grid soll es ermöglichen, den dezentral erzeugten (in objektbasierten, privaten Photovoltaik-Anlagen), gespeicherten (in Hausbatterien und Elektrofahrzeugen) und verwalteten/gesteuerten (in Smart-Homes) Strom bei Bedarf im Stromverbund des Quartiers zu tauschen oder in das Gesamtnetz der Stadtwerke einzuspeisen. Die Funktionalität des Konzeptes ergibt sich somit aus der engen Verknüpfungen der einzelnen Module des Solarpaketes: Elektrofahrzeug samt bi-direktional ladefähige/bi-direktionale Ladestation, Smart-Grid und Smart-Home, Übergabestation Heizung/Wasser für Fernwärme sowie Photovoltaikanlage und Hausbatterie (Hauskraftwerk) (Fischer 2017a; Schilling Immobilien 2017; Schilling 2017, mündlich).

Das Konzept enthielt neben einem neuen Produkt auch ein neues, erweitertes Projektentwicklungsmodell, das innovative Infrastruktur als integralen Bestandteil einer privaten Immobilienentwicklung fördert und bewirbt. Infrastruktur und Hausbau werden duch Schillling (Baugebietsentwickler) eng verknüpft und gemeinsam innoviert.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Sozio-ökonomische Dynamik in der Metropolregion Hamburg: Erhöhte Nachfrage und Kaufkraft nach Grundstücken beziehungsweise Immobilien in der Metropolregion Hamburg schafft ökonomische Anreize für Schilling, das Konzept aufzugreifen und in Norderstedt umzusetzen (Schilling 2017, mündlich).
- Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen: das „goodnest Solardorf"-Konzept wurde explizit für Norderstedt entwickelt. Die Stadt wurde als geeigneter Standort gesehen, da politische Unterstützung für das ambitionierte Konzept signalisiert worden war und vermutet wurde, dass ein Momentum für nachhaltige Stadtentwicklung sich in nutzerseitiger Nachfrage niederschlagen würde. 2010 wurde Norderstedts Oberbürgermeister Hans-Joachim Grote als einer der 16 Gründungsmitglieder zum Dialog „Nachhaltige Stadt" eingeladen, welche Norderstedts Positionierung unter Deutschlands führenden Städten weite vorantrieb (Stadt Norderstedt 2017a). So wurde die weitere Entwicklung der Leitidee unterstützt (Schilling 2017, mündlich).
- Aktive Suche nach Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung: Einige Konzeptänderungen wurden unternommen, um Synergieeffekte zwischen Nachhaltigkeits- beziehungsweise Stadtentwicklungszielen und der Modellsiedlung zu schaffen (zum Beispiel in Hinblick auf ein ohnehin zu errichtendes Blockheizkraftwerk).
- Regionale Nische für Elektromobilität: Kooperation und Momentum in der Metropolregion Hamburg für die Entwicklung von Elektromobilität als tragfähige, breitenwirksame Alternative. Die Idee einer Kopplung von Stromproduktion im Eigenheim mit E-mobilität (insbesondere des Einsatzes von Elektrofahrzeugen als mobile Speicher) wurde im Dialog mit einem Elektromobilität-Pionier aus der Region, Sirri Karabag, erarbeitet, der noch 2010 den Elektromobilitätsmarkt mit einem Marktanteil von 50% dominierte (Zerfaß 2011) und vor allem auf Elektromobilität zum Kleinwagenpreis setzte (Grünweg 2011) (Schilling 2017, mündlich).
- Tragfähige Alternativen durch marktreife Technologie: Marktreife und Preisentwicklung von Kernkomponenten des Konzeptes wie beispielsweise Smart-Technologie (Smart-Grids und Smart-Homes) oder Hausbatterie/Stromspeicher erlaubten einen Fokus auf vernetzte, dezentrale Infrastruktur-Lösungen.
- Planungsunsicherheit durch Komplexität und hohe Dynamik der Gesetzesänderungen im Bereich Erneuerbare-Energien: Bei einem komplexen und äußerst innovativen Konzept, die rechtlichen Herausforderungen miteinzuplanen, stellte eine große Herausforderung dar (Schilling), insbesondere in Hinblick auf die zahlreichen Novellierungen im Erneuerbare-Energien-Gesetz und Energiewirtschaftsgesetz. Mitunter war die ausreichende Expertise seitens des Planungs-Teams fraglich (Röntgen 2017b, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Führung in der Entwicklung des Konzepts: Entwickler/Investor (Schilling Immobilien) übernahm die Führung.

- Entwicklung eines neuen Geschäftsmodelles: Schilling Immobilien sahen ein neues Geschäftsfeld und entwickelten ein erweitertes Projektentwicklungsmodell (Einbeziehung der Energieversorgung und der Mobilität in die Planung und Umsetzung einer privaten Immobilienentwicklung) und Produkt (Konzept „goodnest Solardorf“).
- Navigieren und Verknüpfen von Ideen und Innovationen unterschiedlicher Nischen: Schillinge verknüpft Ideen und Innovationen beispielsweise zur Elektromobilität, nachhaltigem Bauen und regenerativer Energien (Schilling 2017, mündlich).
- Mobilisierung neuer Partner und in der Folge neue Schwerpunktlegung in der Planung: Akquise und Auswahl der Lieferanten der jeweiligen technischen Komponenten (Module) des Solarpaktes sowie Akquise eines Immobilienentwicklers, der das Konzept als alleiniger oder führender Bauträger umsetzen könnte.
- Suche nach Synergien zwischen Stadt – und Projektentwicklung: Änderungen im Konzept (also im Vergleich zwischen „Sonnendorf Ossenmoor“ und „goodnest Solardorf“) ergaben sich aus dem Wunsch, Synergieeffekte zwischen Nachhaltigkeits- beziehungsweise Stadtentwicklungszielen und der Modellsiedlung zu schaffen. Ein Beispiel war die Idee eines Anschlusses des Quartiers an ein städtisches Blockheizkraftwerk und somit die Möglichkeit der Errichtung eines größeren, gemeinsamen Kraftwerks.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Die Umsetzung beginnt (Anfang 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Anfang 2012 begann die Umsetzung des Konzepts „goodnest Solardorf“. Dieser gingen viele Monate der öffentlichkeitswirksamen Kooperation zur Vermarktung des Konzeptes zwischen Schilling und Baudezernent/Erstem Stadtrat Bosse voraus, zum Beispiel durch gemeinsame Werbung, Info-Veranstaltungen und Akquise von Partnern oder Kunden (das heißt von zukünftigen Anwohnerinnen und Anwohnern). Schilling warb für das Konzept auf Messen und in Fachjournalen. In 2012 luden Schilling und Bosse gemeinsam zu Informationsveranstaltungen und warben für das Model-Solardorf (Röntgen 2017a; Schilling, mündlich). Das Konzept versprach Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung: eine Modellsiedlung, die sowohl für das Nachhaltigkeits-Marketing der als auch für die Kundenakquise genutzt werden konnte. Ferner gab die Stadt das Baugebiet des Quartiers nur unter der Voraussetzung der Umsetzung des Konzeptes als Bauland frei. Daraus ergab sich ein gemeinsames Interesse, das Solardorf erfolgreich zu vermarkten, Vertrauen in die Leitidee durch öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit zu schaffen und somit die für die Umsetzung notwendigen Kunden (zukünftigen Anwohner) zu akquirieren.
Die verschiedenen Handlungen der Umsetzung erfolgten in einem sehr engen Zeitrahmen: Schilling erwarb (2012 abschließend) das Gebiet des Solardorfes (unter anderem von der Stadt), der städtebauliche Vertrag zwischen dem Entwickler Schilling und der Stadt Norderstedt wurde unterzeichnet, parallel dazu die ersten Grundstücke verkauft (zum Teil direkt an Bauherren, zum Teil an einen Bauträger, der OLWO Hochbau GmbH). Mit dem Inkrafttreten des Bebauungsplans wurde der offizielle Startschuss für die Umsetzung gegeben und die Erschließung des Baugebiets des Quartiers begann. Für einige Bauherren/Bewohnerinnen und

Bewohner erfolgte der Baubeginn (Röntgen 2017a; Schilling, mündlich). Als Folge des gezielten Hinarbeitens auf potentielle Synergien zwischen Solardorf und stadt-planerischen Zielen wurde schließlich ein Blockheizkraftwerk auf dem im Norden angrenzenden Gebiet zur gemeinsamen Versorgung beider Gebiete errichtet.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen: diese boten den Rahmen für die Förderung nachhaltiger Stadtplanungskonzepte. Norderstedt engagiert sich seit 2010 im Rahmen des Dialogs „Nachhaltige Stadt“ auf Einladung des Rates für nachhaltige Entwicklung und ist involviert in der Strategieentwicklung für nachhaltige Entwicklung in Kommunen und Städten (Stadt Norderstedt 2017b). Das Solardorf wurde daher als Vorzeigeprojekt für nachhaltige Stadtentwicklung positioniert.
- Nutzerseitige Nachfrage für Konzept/ Solardorf: Der erfolgreiche Verkauf der Grundstücke an Kunden war die Grundvoraussetzung für den Beginn der eigentlichen Umsetzung (der Bauphase), insbesondere da die objektseitigen Baumaßnahmen (Installationen am Haus) des Konzeptes durch die vom jeweiligen Grundstückseigentümer bestellten Bauträgern erfolgten. Niedrige Zinsen bei der Immobilienfinanzierung erlaubten Spielräume bei der Investitionssumme; Bausparen war attraktiv.
- Bauland steht zur Neuerschließung zur Verfügung: Bauland für die Entwicklung eines Neubaugebietes war vorhanden und wurde als solches freigegeben.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Festschreibung des Konzeptes im städtebaulichen Vertrag: Der Vertrag schafft einen rechtlichen Rahmen für ein experimentelles Planungsvorhaben und übersetzt das Konzept in städtebauliche Verpflichtungen für den Entwickler gegenüber der Stadt.
- Öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit zwischen Stadt (beziehungsweise Baudezernent Bosse) und Entwickler sowie Suche nach Synergien: beispielsweise in Werbung: Werben für und mit dem Solardorf durch Stadt (Baudezernent Bosse), Werbung auf Messen oder in Fachjournalen und durch Schilling.
- Vermarktungstätigkeiten sind wichtig für die Kundenakquise (auch zu unterscheiden von der Zusammenarbeit durch Netzwerk – beide sind wichtige Kunden)
- Mediation zwischen Entwicklung und Kundeninteressen: Durch gemeinsame Infoveranstaltungen von Stadt Norderstedt und Schilling versucht sich Bosse als Vermittler zwischen Entwickler und zukünftigen Kunden/Anwohnern zu positionieren (Koops 2017, mündlich; Röntgen 2017, mündlich).

2.6 Entwicklungsmoment #6: Umsetzungsprobleme und Kompromissfindung (Ende 2013 – heute)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Mit Baufortschritt stellte sich heraus, dass technische Komponenten nicht lieferbar waren und Klärungs- und Verhandlungsbedarf bezüglich offener Fragen im Konzept bestand. Spätestens in 2014 (hier gehen Einschätzungen der Beteiligten auseinander) wurde deutlich, dass das Konzept nicht in der ursprünglich beworbenen Form technisch umgesetzt werden kann.

Die Herausforderungen für die Umsetzung werden von Involvierten in drei Teilbereichen identifiziert:

1. Projektplanung und -leitung: Zunächst kann nicht abschließend, beantwortet werden, inwieweit die Projektierung insbesondere in Hinblick auf die technische Planung zu dem Zeitpunkt, an dem die Erschließung beziehungsweise der Baubeginn erfolgte, abgeschlossen bereits war. Beteiligte Akteure widersprechen sich in dieser Frage. Es lässt sich argumentieren, dass trotz Baufortschritt Unsicherheiten bezüglich einiger Module des Solarpakets bestanden, beispielsweise der konkreten Wahl technischer Komponenten und Lieferzeiten sowie in Hinblick auf konkrete bautechnische Erfordernisse. Die Unsicherheit seitens der Bauherren kulminierte in der Frage, ob das Konzept grundsätzlich noch umsetzbar war und konfrontierte sie mit dem Dilemma, noch weiterhin im Rahmen des eigenen Bauvorhabens in das Konzept zu investieren (Koops 2017, mündlich). Ein Baustopp wurde sowohl für Entwickler als auch Bauherren aus finanziellen Gründen ausgeschlossen (Koops 2017, mündlich; Schilling 2017, mündlich). Unabhängig von der Frage einer adäquaten Planung im Vorfeld ergeben sich Herausforderungen aus den konkreten Modalitäten der beziehungsweise Anforderungen an die Projektleitung. Da Häuser von den jeweiligen Grundstückseigentümern bestellten Bauträgern gebaut worden waren, war Koordination zwischen den Bauvorhaben besonders wichtig, um die Funktionalität durch Vernetzung zu gewährleisten. Ferner war aufgrund der Komplexität der Kopplung und der Verwendung besonders innovativer Technologien besonderer Sachverstand nötig (Koops 2017, mündlich), schließlich werden in Modellprojekten Komplikationen erst in der Umsetzung deutlich. Allerdings wurde das Ingenieurbüro EST Volker Stracker auf Kundenwunsch von der technischen Projektleitung entbunden und Schilling übernahm in der Folge die technische Leitung (Schilling 2017, mündlich). Ob aufgrund dieser Entscheidung der nötige Sachverstand zur Verfügung stand, wird von Beteiligten unterschiedlich bewertet.
2. (Verfügbare) Technologie: Trotz Lieferverträgen konnten Module des Solarpakets wie die bi-direktional ladefähige Ladebox, die die Verwendung von Elektrofahrzeugen als mobile Speicher ermöglichen sollte, nicht geliefert werden; zum Teil aufgrund von Firmenkonkursen; zum Teil, da sich die Zulassung auf dem deutschen Markt unerwartet verzögert hatte (Schilling 2017, mündlich).
3. Rechtlicher Rahmen: Im Laufe der Umsetzung zeigte sich eine Diskrepanz zwischen der technisch möglichen Funktionalität, die dem Konzept zugrunde lag, und dem rechtlichen Rahmen für die Umsetzung. Kernpunkte waren der rechtliche Status der Netze für Strom und Fernwärme und die sich daraus ergebenden Rechte und Pflichten für Betreiber und Kunden sowie die rechtliche Kompatibilität eines Smart-Grids mit geltendem Energierecht (Energiewirtschaftsgesetz und Erneuerbare-Energien-Gesetz). Auf Anfrage

von den Bauherren/Anwohnern beim Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume für eine Prüfung der Rechtmäßigkeit des Betriebes durch Entwickler wurde über die rechtliche Einstufung als privates Netz/Kundenanlage oder als öffentliches Verteilernetz auch unter Rücksprache mit der Bundesnetzagentur verhandelt und zunächst eine Ordnungswidrigkeitsverfügung gegenüber Schilling ausgesprochen (Röntgen 2017a; Röntgen 2015; Röntgen 2017b, mündlich).Ferner stellte es eine Herausforderung dar, wie eine rechtliche Verpflichtung zur Umsetzung des Solarpaketes und somit für eine Sicherstellung der Funktionalität einer dezentralisierten Infrastruktur gestaltet werden könnte. Die Stadt beklagte, dass die Verpflichtungen zum Solarpaket nicht öffentlich-rechtlich (beispielsweise über den Bebauungsplan), sondern nur über Grunddienstbarkeiten, Baulasten oder Kaufverträge geregelt werden konnten (Stadt Norderstedt 2016). Es wurde also versucht, rechtliche Verpflichtungen im bestehenden rechtlichen Rahmen beziehungsweise mit dem bestehenden rechtlichen Instrumentarium zu schaffen. Diese waren jedoch nicht unbedingt geeignet, um eine Verpflichtung zur Konzeptumsetzung oder dezentrale Serviceerbringung zu verregeln. Die Situation wurde zusätzlich dadurch erschwert, dass unterschiedliche Grundstückskaufverträge abgeschlossen worden waren (da Grundstücke zunächst an einen Bauträger OLWO Bau verkauft wurden) und bei einem Drittel die Umsetzung des Solarpaketes nur optional war (Schilling 2017, mündlich). Dies resultierte in Pfadabhängigkeiten im Rahmen eines komplexen vertraglichen Dreiecksverhältnis zwischen der (1) Stadt Norderstedt (Stadt und Stadtwerke), (2) dem Entwickler Schilling und den (3) Bauherren/Anwohnern, das Rechte und Pflichten vorsah, die auf Basis eines Konzepts festgeschrieben worden waren, das aber technisch nur teilweise umsetzbar war. Lösungen in der ursprünglichen Planung (Grundstückskaufverträge und Dienstbarkeiten für Strom und Wärme in Grundbüchern) und der späteren Kompromissfindung (Vorschlag einer Ergänzungsvereinbarung zu Kaufverträgen) für ein solche Verpflichtung wurden in der Folge gerichtlich verhandelt (Amtsgericht Norderstedt über die Löschung Dienstbarkeiten; Landesgericht Kiel über die Verwehrung direkter Stromanschluss durch Stadtwerke). Die Fronten waren zunehmend verhärtet und Kommunikation erfolgte nur noch über Anwälte beziehungsweise nach juristischer Beratung (Schilling 2017, mündlich; Röntgen 2017b, mündlich; Röntgen 2017a und 2016; Fischer 2017a, 2017b).

2014-2016 wurden mehrere Kompromisse für die Umsetzung des Solardorf-Konzeptes gemeinsam von zwischen der Stadt Norderstedt (sowie den Stadtwerken), dem Entwickler Schilling und den Bauherren/Anwohnern, erarbeitet und deren Umsetzung versucht. Kompromisse drehten sich primär um den Betrieb der Netze für Strom und Fernwärme und der rechtlichen und technischen Kompatibilität mit einem Smart-Grid. Anfangs fungierte Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse als Vermittler zwischen Bauherren und Entwickler. Später jedoch agierte er als eigenständiger Verhandlungspartner im vertraglichen Dreiecksverhältnis. Ebenso wurden die Stadtwerke Norderstedts zu einem Verhandlungspartner und bezüglich der Netzübernahme zu einem Veto-Spieler. Schließlich wurde das drohende Scheitern des Vorzeigeprojektes durch Anfragen im Ausschuss für Stadtentwicklung und

Verkehr durch die politische Opposition adressiert und folglich auf die Agenda der Lokalpolitik gesetzt (Röntgen 2017a; Röntgen 2017b, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Fehlende Verfügbarkeit und Marktreife von konzipierter Technologie: Einige technische Komponenten konnten nicht wie geplant umgesetzt werden – zum Beispiel wie im Fall der bi-direktional ladefähigen Ladebox. Diese war trotz Liefervertag mit Partner auf dem deutschen Markt noch nicht zugelassen und damit nicht verfügbar (Schilling, mündlich), unter anderem da die Nutzung bi-direktional ladefähiger Ladesäulen bisher nur in ersten Feldversuchen getestet worden ist. Ähnliches gilt bei Smart-Grid-Steuerungen. Insofern lässt sich argumentieren, dass im Konzept mit noch nicht verfügbarer Technologie geplant wurde.
- Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen: Parallel zur Umsetzung des Solardorfes weitete Norderstedt ihre NachhaltigkeitsHandlungen erheblich aus: Im Rahmen des Forschungsvorhabens ZukunftsWerkStadt setzte sich Norderstedt das Ziel, bis 2040 klimaneutral zu sein und wurde seit 2012 vom BMBF gefördert (Stadt Norderstedt 2017a). Als erste und bislang einzige Stadt in Deutschland erarbeitete Norderstedt ein gesamtstädtisches Fußverkehrskonzept. Seit 2014 ist Norderstedt offiziell Fairtrade-Stadt (Stadt Norderstedt 2017b). Nachhaltigkeit wurde als „handfester Standortfaktor“ gesehen, wie es im Nachhaltigkeitskonzept „Vorsprung durch Nachhaltigkeit-Norderstedt 2030+“ im Rahmen des Wettbewerbs Zukunftsstadt Ausdruck findet (Bundesministeriums für Bildung und Forschung 2015). Norderstedts Oberbürgermeister Hans-Joachim Grote ist unter den 16 Gründungsmitgliedern des Dialogs „Nachhaltige Stadt“ .Damit lässt sich argumentieren, dass das Solardorf als Vorzeigeprojekt für nachhaltige Stadtentwicklung aus politischer Sicht wichtig war und somit die Stadt unter Zugzwang setzte, das Konzept umzusetzen.
- Förderung und Momentum durch Nachhaltigkeitswettbewerbe: Teilnahme und -siege der Stadt an Nachhaltigkeitswettbewerben von Bund und vom Land Schleswig-Holstein beschleunigten und verfestigten das Momentum für Nachhaltigkeit. Norderstedt war Preisträger (in der zweiten Phase) im Wettbewerb ZukunftsWerkStadt (2014) und Wettbewerb „Zukunftsstadt“ (2015). In 2013 erhielt Norderstedt den Nachhaltigkeitspreis des Landes Schleswig-Holstein unter anderem für das „Solardorf Müllerstraße“ (Stadt Norderstedt 2017c). Dies setzte Norderstedt Stadt unter Zugzwang, das Konzept umzusetzen (Röntgen 2017b, mündlich, Koops, mündlich,).
- Unsicherheit über die Rechtmäßigkeit technisch möglicher Funktionalität im rechtlichen Neuland „dezentrale Infrastruktur: (Technische) Möglichkeiten oder Erfordernisse des Konzeptes standen im Widerspruch zu geltendem Recht (Energiewirtschaftsgesetz und Erneuerbare Energien Gesetz): Rechte und Pflichten, die sich aus der Netzübernahme durch Stadtwerke ergeben, waren inkompatibel mit der Funktionalität eines (physischen) Smart-Grids. Insbesondere das Energiewirtschaftsgesetz wirkte hemmend, da dieses die Wahlfreiheit des Stromanbieters durch den Nachfrager garantiert. Das stand den

Bemühungen entgegen, in einem technisch weitgehend eigenständigen Stromnetz innerhalb des Quartiers Stromüberschüsse und Stromnachfrage unter den Erzeugungsanlagen, Speichern und Nachfragern auszugleichen. Mit einem Quartiersstromverbund wurde also eine Regelungsebene hinzugefügt, die rechtlich gesehen im Widerspruch zum Gesetz steht. Ferner ist der Betrieb von Netzen für Strom und Fernwärme an Anforderungen gegen den Betreiber geknüpft, die nicht ohne weiteres durch einen Immobilienentwickler oder (wie im Konzept vorgesehen) durch die Anwohner in Form einer Kooperative erfüllt werden können (siehe Bewertung Bundesnetzagentur laut Schilling, mündlich, Röntgen 2017b, mündlich). Die volle Funktionalität des Konzeptes war somit endgültig nicht realisierbar und Alternativen (Netzübernahme durch Stadtwerke) rechtlich notwendig.

- Unsicherheit über die rechtliche Durchsetzbarkeit von Service-Erbringung im rechtlichen Neuland „dezentrale Infrastruktur“: Da eine dezentrale Service-Erbringung - also die Stromproduktion durch Anwohner - das bestehende Regime grundsätzlich in Frage stellt war es notwendig, einen geeigneten rechtlichen Rahmen für eine erfolgreiche Umsetzung zu schaffen. Es stellte insbesondere eine Herausforderung dar, Bauherren/Anwohner zur Umsetzung des Solarpaketes zu verpflichten und somit die Funktionalität einer dezentralisierten Infrastruktur rechtlich abzusichern. Ein solcher rechtlicher Rahmen war bisher nicht vorhanden oder nicht bekannt. Letztendliche Lösungen - sowohl öffentlich-rechtliche als auch privat-rechtliche Verpflichtungen - erwiesen sich als inadäquat. So waren unterschiedliche Konzeptbausteine durch unterschiedliche rechtliche Verpflichtungen geregelt. Im Laufe der Umsetzung ergab sich die Situation, dass die Umsetzung rechtlich erfordert wurde trotz gleichzeitiger Unsicherheit bezüglich der grundsätzlichen Umsetzbarkeit und der realisierbaren Funktionalität des Gesamtkonzeptes, das heißt trotz eines Widerspruchs zwischen Verpflichtungen und den Realitäten der Umsetzung (Röntgen 2017b, mündlich).
- Ökonomischer Anreiz zur Nicht-Umsetzung des Konzepts: Da im Ballungsgebiet um die Metropolregion Hamburg eine sehr hohe Nachfrage nach Bauland bestand, lässt sich argumentieren, dass die Nachfrage nach Bauland die Nachfrage nach dem Solardorf-Konzept überstieg und somit ein Anreiz bestand, Grundstücke im Solardorf zu erwerben, auch wenn das Konzept von Anwohnern nicht vollständig unterstützt wurde. Somit könnte ein Anreiz für Anwohner bestanden haben, nach Wegen zu suchen, das Konzept nicht beziehungsweise in Hinblick auf Herausforderungen in der Umsetzung nicht um jeden Preis umsetzen zu müssen (Schilling, mündlich; Röntgen 2017b, mündlich; Koops, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Dialog und Verhandlung: über die Umsetzung zwischen der Stadt Norderstedt (beziehungsweise den Stadtwerken), dem Entwickler Schilling und den Bauherren/Anwohnern. Die Art der Kommunikation und Verhandlungen veränderten sich über Zeit: zunächst Mediation durch Baudezernent Bosse, mit dem klaren Ziel, das Konzept bestmöglich umzusetzen und somit die Nachhaltigkeitsziele der Stadt auch in

Hinblick auf den bereits erhaltenden Preis für das Solardorf zu erreichen. Er agierte später als eigenständiger Verhandlungspartner oder stellvertretend für die Interessen der Stadtwerke. Während dieser Verhandlungen schlugen Schilling Immobilien aktiv Alternativen zur nicht-verfügbaren Technologie vor. Später fanden Verhandlungen zur Kompromissfindung vordergründig als Reaktion auf behördliche Intervention beziehungsweise Gerichtsentscheidungen (Klage seitens der Bauherren/Bewohnerinnen und Bewohner) statt (Röntgen 2017b, mündlich; Koops, mündlich).

- Fehlende Koordinierung und Kommunikation im Projektmanagement durch Entwickler bei gleichzeitig hohem Koordinierungsbedarf: (1) technische Leitung ohne explizite Expertise; (2) Vielzahl an Bauträgern; (3) Unterschiedliche Kaufverträge und Grundbucheinträge (Röntgen 2017b, mündlich; Koops) (Röntgen 2017b, mündlich; Koops , mündlich).
- Navigieren des rechtlichen Neulands durch Entwickler, Stadt und Bauherren/Bewohnerinnen und Bewohner: Kompromisse fokussierten sich zunehmend auf den Umgang mit den Verpflichtungen zum Solarpaket im Bebauungsplan, Grundbüchern und Kaufverträgen (also auf vermeintlich bereits durchsetzbare Rechte und Pflichten) und weniger auf eine bestmögliche Umsetzung des Konzepts (Schilling 2017, mündlich). Rechtsberatung spielt eine große Rolle im Navigieren und der Kompromissfindung.
- Behördliche Intervention zur Prüfung, Bewertung und Handlungsanweisung unter Androhung einer Ordnungswidrigkeitsverfügung durch Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein sowie der Bundesnetzagentur über die Rechtmäßigkeit des Betriebs von Netzen für Strom und Fernwärme durch den Entwickler und über den rechtlichen Status der Netze.
- Rechtliche Prüfung, Rechtsberatung und Rechtsvertretung der Bauherren/Bewohnerinnen und Bewohner durch externe Anwaltskanzleien: Überprüfung der rechtlichen Dimension der einzelnen Kompromissvorschläge durch Sachverständige; Selbst-organisation der Bauherren/Bewohnerinnen und Bewohner, um mit einer Stimme zu sprechen und Repräsentation durch gemeinsamen Anwalt (Röntgen 2017b, mündlich; Koops, mündl).
- Agenda-Setting: Umsetzungsprobleme erlangten parteienübergreifendes Interesse und wurden auf der Agenda der Lokalpolitik diskutiert und erhöhten schließlich den politischen Druck (Röntgen 2017a) – auch im Zusammenhang mit dem politischen Interesse an dem Solardarf im Rahmen der umweltpolitischen Ziele und Programme.

2.7 Heutiger Stand: Das „goodnest Solardorf“ wird teilweise umgesetzt

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Die verschiedenen Kompromisse des letzten Entwicklungsmomentes ergründeten verschiedene Lösungsvarianten in Hinblick auf die Hürden der Umsetzung, insbesondere im Spannungsfeld zwischen nicht verfügbarer Technologie und rechtlichen Verpflichtungen beziehungsweise zwischen möglicher Funktionalität und relevanten Regulierungen beziehungsweise Gesetzen. Der letztendliche Kompromiss stellt einen pragmatischen Kompromiss im Rahmen des

technisch und- rechtlich möglichen dar, der aus Verhandlungen zwischen der Stadt Norderstedt (sowie den Stadtwerken), dem Entwickler Schilling und den Bauherren/Anwohnern hervorging, die wiederum maßgeblich durch die behördliche Intervention durch das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein sowie der Bundesnetzagentur sowie Rechtsberatung durch Dritte geprägt wurden. Es wurden keine weiteren Anstrengungen unternommen, den Rahmen des mögliche zu erweitern. Der heutige Stand entspricht somit im weitesten Sinne den Zielen des letzten Kompromisses zwischen der Stadt Norderstedt (beziehungsweise den Stadtwerken), dem Entwickler Schilling und den Bauherren/Anwohnern. Das letzte Haus des Quartiers wurde bezogen. Die Mehrzahl der Häuser des Quartiers verfügen über eine Photovoltaik-Anlage samt Speicher. Haushalte sind direkt sowohl an das öffentliche Stromnetz der Stadtwerke Norderstedt sowie an ein an das Quartier angrenzende Blockheizkraftwerk der Stadtwerke angeschlossen. Statt als selbst-verwaltete Insel-Netze wurden sowohl Strom- als auch Wärmenetze als öffentliche Netze von den Stadtwerken Norderstedt übernommen (die Übernahme des Fernwärmenetze ist für September 2017 geplant). Diese Entscheidung bedeutet die endgültige Abkehr vom Smart-Grid als eines der zentralen Module des Solarpaketes. Lediglich ein Elektrofahrzeug wird bisher betrieben und aus selbst-produziertem Strom gespeist (Schilling 2017, mündlich; Röntgen 2017b, mündlich; Koops 2017, mündlich). Perspektivisch gesehen, könnte eine bi-direktional-ladefähige Ladebox auch zu einem späteren Zeitpunkt - sobald eine solche Ladebox auf dem deutschen Markt verfügbar ist - installiert und E-Mobilität im Solardorf so weiter ausgebaut werden. Ferner wurde die Idee der Installation eines virtuellen Smart-Grids in enger Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Norderstedt vorgebracht, jedoch zurzeit nicht weiterverfolgt.
Im Vergleich zum vorherigen Entwicklungsmoment wirkten keine neuen Einflussfaktoren. Der heutige Stand stellt somit eher eine Fortentwicklung als eine Neuentwicklung dar.

Der heutige Stand wird von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Verhandlungen mit Wille zum Kompromiss zwischen Entwickler, Stadt und Bauherren/Anwohner, vordergründig in Bezug auf die Durchsetzung rechtlicher Verpflichtungen (zum Beispiel Dienstbarkeit für Fernwärme zugunsten der Stadtwerke). Die Kompromissfindung zielte auf einen pragmatischen Kompromiss im Rahmen des technisch und- rechtlich möglichen ab. Es wurden keine weiteren Anstrengungen unternommen, den Rahmen des mögliche zu erweitern. Verhandlungen waren einerseits durch Interesse am und Wille zum Kompromiss (zum Beispiel durch politischen Handlungsdruck durch Positionierung als Modellprojekt) und andererseits durch Handlungsanweisung beziehungsweise Rahmensetzung durch das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein beziehungsweise der Bundesnetzagentur geprägt.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung ist durch vielzählige Veränderungsdynamiken zwischen Einflussfaktoren aus dem Kontext des Systems und akteursbezogenen Prozessen

gekennzeichnet. Im Folgenden untersuchen wir zunächst die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während der Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind, und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Entwicklungspfad. Daraufhin analysieren wir die Handlungen der unterschiedlichen Akteure, und wie diese mit den Einflussfaktoren umgegangen sind. Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken während der Entwicklungsmomente – den Einflussfaktoren und deren Wirkungen sowie der Akteure und Handlungen.

Tabelle 10: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des Solardorfes in Norderstedt

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Geburt der Idee zur (energieautarken) Solarsiedlung“ (2006)	*Lokale institutionelle Faktoren:* Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen	Unterstützend: fördert die Realisierung nachhaltiger Stadtplanungskonzepte	*Ermöglichen der Innovation und Nischenbildung (Transformativ)*: Bildung eines lokalen Netzwerks aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus Norderstedt und der Region *Ermöglichen der Innovation und Nischenbildung (Transformativ)*: Konzept- beziehungsweise Produktentwicklung durch das lokale Netzwerk im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Dialog zwischen dem Netzwerk aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien und der Stadt (vordergründig durch Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse) über Solardorf als (potenzielles) Modellprojekt nachhaltiger Stadtentwicklung und somit über (potenzielle) Fortentwicklung der
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Politischer Pioniergeist in Norderstedt und Metropolregion Hamburg	Unterstützend: treibt Interesse am Experimentieren mit (technischen) Innovationen und Positionierung Norderstedt unter Deutschlands führenden Städten	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Unternehmerischer Pioniergeist in Norderstedt und Metropolregion Hamburg	Unterstützend: treibt Angebot an innovativen Produkten/Dienstleistungen	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Sozio-ökonomische Dynamik in der Metropolregion Hamburg	Unterstützend: Aufgrund der Nähe und sozio-ökonomischen Interrelationen mit Metropolregion Hamburg gehen in Norderstedt Interesse an Nachhaltigkeitsfragen mit überdurchschnittlicher Kaufkraft einher und generiert so Nachfrage	
	Anreize und Regulierungen: Nachhaltigkeitsziele und Rahmengesetzgebung des Bundes sowie des Landes Schleswig-Holstein als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale	Unterstützend: gibt Richtung vor, setzt Rahmen und erhöht politischen Druck für Stadtpolitik	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Handlungen (insbesondere Energiewende)		Nachhaltigkeitsstrategie Norderstedts durch Synergieprojekt *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* Stadt Norderstedt setzt langfristige Nachhaltigkeitsziele sowie Anreize für Nachhaltigkeitsinnovation, insbesondere durch langjährigen Oberbürgermeister Hans-Joachim Grote (Bürgermeister seit 1998 sowie Oberbürgermeister seit 2005; Startpunkt für Suche nach Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung in der Planung durch Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse
	Anreize und Regulierungen: Förderung und Momentum durch Nachhaltigkeitswettbewerbe (vom Bund und Land Schleswig-Holstein)	Unterstützend: Teilnahme und –siege der Stadt demonstrieren Pioniergeist und schafft Momentum	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Tragfähige Alternativen vorhanden durch marktreife Technologie	Unterstützend: senkt technische oder finanzielle Hürden für Umsetzung; Planungssicherheit	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Wachsendes gesellschaftliches Umweltbewusstsein und -engagement auf lokaler bis globaler Ebene	Unterstützend: Wille zum Wandel und Investition in Nachhaltigkeit ist gegeben	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Steigende Umweltproblematiken (Ölkrise; Klimawandel)	Unterstützend: treibt (politisches, gesellschaftliches) Interesse an der Erschließung alternativer Energiequellen	
#2: Projektierung „Sonnendorf Ossenmoor“ (Anfang 2009)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung):* Unternehmerischer Pioniergeist in Norderstedt und Metropolregion Hamburg	Unterstützend: neues Geschäftsfeld „innovativer Quartiersbau“ entwickelt sich Unterstützend: Interesse an und Erfahrungen aus unternehmerischer im Bereich Solarenergie und nachhaltigem Bauen treiben die Konzeptrealisierung	*Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ)*: Weitere Projektierung sowie Werbung und Akquisetätigkeiten durch „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“; Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse unterstützt in Werbung und Akquise

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Politischer Pioniergeist in Norderstedt und Metropolregion Hamburg	Unterstützend: treibt und signalisiert Interesse am Experimentieren mit (technischen) Innovationen	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung)*: Werbung für Solardorf als Modellprojekt nachhaltiger Stadtentwicklung, das die unmittelbar die Nachhaltigkeitsziele der Stadt voranbringt; gemeinsame Zukunftsvision
# 3: Das Scheitern des „Sonnendorfes Ossenmoor“ in der Planungsphase (2009 – 2010)	*Lokale institutionelle Faktoren:* Fehlende Geschäfts- oder Finanzierungsmodelle	Hemmend: Fehlende Partner und Finanzmittel zur Umsetzung	*Herausforderungen für die Ermöglichung von Innovation und Nischenentwicklung (Transformativ)*: Kein explizit experimenteller Raum, sondern Projektumsetzung als Wohngebietsentwicklung im Rahmen des Marktes
#4: Neues Konzept Unter Neuer Führung: Das „goodnest Solardorf“ (2010)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung):* Sozio-ökonomische Dynamik Region in Metropolregion Hamburg	Unterstützend: Erhöhte Nachfrage und Kaufkraft nach Grundstücken beziehungsweise Immobilien in der Metropolregion Hamburg; potenzielle Kunden gegeben	*Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung (Transformativ)*: Einnehmen einer Führungsrolle im Experimentieren mit Innovation „dezentrale/gekoppelte Infrastruktur“ als Alleinstellungsmerkmal auf dem Immobilien(entwicklungs)markt durch die Entwicklung und Vermarktung eines erweiterten Projektentwicklermodells (Einbeziehung der Infrastruktur für Energieversorgung und der Mobilität in die Planung und Umsetzung einer privaten Immobilienentwicklung) und Produktes (Konzept „goodnest Solardorf“) durch Schilling *Skalen- und ressourtübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Aktive Suche nach Synergien zwischen
	Anreize und Regulierungen: Planungsunsicherheit durch Komplexität und hohe Dynamik der Gesetzesänderungen im Bereich Erneuerbare-Energien	Hemmend: Technische Planung herausfordernd	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Tragfähige Alternativen durch marktreife Technologie	Unterstützend: senkt technische oder finanzielle Hürden für Umsetzung	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Regionale Nische für Elektromobilität	Unterstützend: Kooperation und Momentum in Metropolregion Hamburg	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Projektentwicklung und Stadtentwicklung durch Schilling und Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* Navigieren und Verknüpfen von Ideen und Innovationen unterschiedlicher Nischen durch Schilling
	Lokale institutionelle Faktoren: Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen	Unterstützend: fördert die Realisierung nachhaltiger Stadtplanungskonzepte	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* Stadt Norderstedt setzt langfristige Nachhaltigkeitsziele sowie Anreize für Nachhaltigkeitsinnovation; Startpunkt für Suche nach Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung in Planung durch Bosse *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation*: Öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit in Werbung sowie Mobilisierung neuer Partner von Schilling und Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse unter Bezugnahme auf das Solardorf als Modellprojekt nachhaltiger Stadtentwicklung
#5: Die Umsetzung beginnt (Anfang 2012)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung):* Politischer Pioniergeist in Norderstedt und Metropolregion Hamburg	Unterstützend: städtebaulicher Vertrag/Bebauungsplan schafft rechtlichen Rahmen für experimentelles Konzept und verpflichtet Entwickler zur Umsetzung	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ)*: Implementierung des Konzeptes ermöglicht durch städtebaulichen Vertrag/Bebauungsplan, da dieser das Konzept in städtebauliche Verpflichtung
	Lokale institutionelle Faktoren: Nachhaltigkeitsziele und -programme	Unterstützend: fördert die Realisierung nachhaltiger Stadtplanungskonzepte	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen		für den Entwickler gegenüber der Stadt übersetzt *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Sektorenübergreifende Mediation durch Bosse, Stadt als Vermittler zwischen Entwickler und zukünftigen Kunden/Anwohnern zu positionieren *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ)*: Öffentlichkeitswirksame Zusammenarbeit in Werbung für und mit Solardorf durch Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Nutzerseitige Nachfrage für Konzept/ Solardorf	Unterstützend: Käufer sind Grundvoraussetzung für Umsetzung, da Entwickler nicht Bauträger	
	(Technische Entwicklungen) lokale Angebotsseite: Bauland steht zur Neuerschließung zur Verfügung	Unterstützend: Bauland ist Grundvoraussetzung für Umsetzung	
#6: Umsetzungsprobleme und Kompromissfindung (Ende 2013 bis heute)	*Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen):* Fehlende Verfügbarkeit und Marktreife von Technologie	Hemmend: konzipierte Technologie beziehungsweise Kopplung von Technologien nicht umsetzbar, da faktisch nicht verfügbar	*(Herausforderung für) Skalen- und ressortübergreifenden Mediation (Orchestrierung):* Zunächst sektorenübergreifende Mediation durch Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse in Verhandlungen zur Kompromissfindung zwischen Stadt, Entwickler und Bauherren/Anwohnern; im Verlauf verhandeln zunehmend drei partikularinteressengeleitete Verhandlungspartner ohne neutrale Mediation; Mangelnde Koordinierung und Kommunikation im Rahmen des Projektmanagements *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* Positionierung des Solardorfes als Modellprojekt
	Lokale institutionelle Faktoren: Nachhaltigkeitsziele und -programme der Stadt Norderstedt als Rahmen- und Richtungsgebung für lokale Handlungen	Unterstützend: erhöht politischen Druck für eine erfolgreiche Umsetzung	
	Lokale institutionelle Faktoren: Ökonomischer Anreiz zur Nicht-Umsetzung des Konzepts	Hemmend: Anreiz zur Nicht-Umsetzung des Konzepts	
	Anreize und Regulierungen: (Finanzielle) Förderung und Momentum durch Nachhaltigkeitswettbewerbe	Unterstützend: erhöht politischen Druck für eine erfolgreiche Umsetzung; schafft finanzielle Grundlage für lokale Handlungen	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Unsicherheit über Rechtmäßigkeit technisch möglicher Funktionalität im rechtlichen Neuland „dezentrale Infrastruktur“	Hemmend: (Technische) mögliche Funktionalität im Widerspruch zu geltendem Recht (Energiewirtschaftsgesetz und EEG); volle Funktionalität des Konzeptes folglich nicht realisierbar; Alternativen rechtlich notwendig (Netzübernahme durch Stadtwerke)	nachhaltiger Stadtentwicklung und Verständnis als Synergieprojekt schafft gemeinsames Verantwortungsgefühl und setzt Entwickler, Bauherren/Anwohner sowie insbesondere auch die Stadt unter Zugzwang einen Kompromiss zu finden
	Lokale institutionelle Faktoren: Unsicherheit über rechtliche Durchsetzbarkeit von Serviceerbringung im rechtlichen Neuland „dezentrale Infrastruktur“	Hemmend: (1) Möglichkeiten der rechtlichen Verpflichtung von Bauherren/Eigentümern zur flächendeckenden/dezentralen Umsetzung eingeschränkt/experimentell, beispielsweise über Städtebauliche Verträge, Grundbücher und Kaufverträge (2) Vertragliche Rechte und Pflichten widersprechen den veränderten Realitäten der Umsetzung; hemmende Pfadabhängigkeiten	
Heutiger Stand	-	-	*Skalen- und ressortübergreifenden Mediation (Orchestrierung):* Verhandlungen mit Willen zum Kompromiss zwischen Stadt, Entwickler und Bauherren/Anwohnern; aktive Kompromissfindung mit dem Ziel eines Kompromisses im Rahmen des technisch und rechtlich möglichen

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt diskutiert auf der Basis von Tabelle 10 die Einflussfaktoren und deren Wirkungen.

Sozio-kulturelle Faktoren trugen insbesondere zu Beginn des Entwicklungspfades dazu bei, dass sich in der Stadt Norderstedt das Interesse um die Entwicklung eines Solardorfes herausbildete. Diese beinhalteten unter anderem *unternehmerischen Pioniergeist* in Norderstedt und der Metropolregion Hamburg, welcher die Entwicklung von innovativen Alternativen wie Idee des Solardorfs hin zu einem Produkt vorantrieb. Dieser beeinflusste sich wechselseitig mit *politischem Pioniergeist,* der Interesse am Experimentieren mit (technischen) Innovationen in politische Nachfrage für alternative Konzepte übersetzte. Zudem gab es eine unterstützende *sozio-ökonomische Dynamik in der Region* aufgrund der Nähe und den sozio-ökonomischen Interrelationen mit Hamburg, welche eine erhöhte Nachfrage am Markt mit überdurchschnittlicher Kaufkraft schuf. Sozio-kulturelle Faktoren unterstützten auch die Neuaufnahme der Leitidee nach dem ersten Scheitern (dem Scheitern des „Sonnendorf Ossenmoor"). Allerdings scheint auch die Kehrseite der sozio-ökonomische Dynamik in der Region relevant: die Nachfrage nach Bauland könnte die Nachfrage nach der Idee des Solardorfes überstiegen und somit ein ökonomischer Anreiz zur Nicht-Umsetzung des Konzepts bestanden haben.

Die Nachfrage nach innovativen, nachhaltigen Infrastruktur-Lösungen müssen in den Kontext breiterer gesellschaftliche Trends und Entwicklungen (**Metafaktoren**), beispielsweise *steigender Umweltproblematiken* wie Ölkrise und Klimawandel sowie den darauf reagierenden Entwicklungen wie *wachsendes Umweltbewusstsein, -Diskurse und -Engagement* auf lokaler bis globaler Ebene gesehen werden. Ferner entwickelte sich eine *regionale Nische für Elektromobilität*, die Momentum in der Metropolregion Hamburg förderte und Kooperation insbesondere in der Planungsphase des „goodnest Solardorf" ermöglichte. Während diese Trends Rahmen und Orientierung für Entwicklung von nachhaltigen Innovationen setzten und so (politisches, gesellschaftliches) Interesse an der Erschließung von zum Beispiel alternativen Energiequellen trieben, war es schließlich *verfügbare Technologie* auf der Metaebene, die den Entwicklungspfad maßgeblich beeinflusste. Auf der einen Seite senkten technische Entwicklungen im Bereich regenerativer Energiequellen sowie Informations- und Kommunikationstechnologie sowohl technische als auch finanzielle Hürden für Umsetzung und erlaubten die Entwicklung eines ambitionierten und attraktiven Konzepts. Alternativen wie zum Beispiel Photovoltaik-Komplettanlagen/Hauskraftwerke oder Smart-Grids/Smart-Homes schienen sich als technisch und ökonomisch tragfähige Alternativen anzubieten. Anderseits waren es im weiteren Verlauf des Entwicklungspfades jedoch die *fehlende Verfügbarkeit und Marktreife von Technologie*, die die vollständige Umsetzung des ambitionierten Konzepts des „goodnest Solardorf" faktisch ausschlossen. Metafaktoren wirkten demnach in ambivalenter Weise.

Der Entwicklungspfad zeichnet sich auch dadurch aus, dass sich diese gesellschaftliche, wirtschaftliche und politische Nachfrage in konkreten Nachhaltigkeitszielen und -programmen der Stadt Norderstedt niederschlug, die jene Nachfrage im Umkehrschluss weiter förderte. Diese **lokalen institutionellen Faktoren** wirkten unterstützend als *Rahmen- und Richtungsgebung* für

lokale Handlungen und förderten die Realisierung nachhaltiger Stadtplanungskonzepte. Es lässt sich argumentieren, dass diese im Verlauf des Entwicklungspfades konstant oder sogar stärker handlungsweisend wirkten, da Norderstedt seine Nachhaltigkeitsprogramme und-Handlungen weiter intensivierte. So boten die Nachhaltigkeitsziele und –programme die Grundlage für den städtebaulichen Vertrag, der den *rechtlichen Rahmen für ein experimentelles, städtebauliches Konzept* schuf sowie Stadt und Entwickler zur Umsetzung des Konzepts verpflichtete. Im weiteren Verlauf des Entwicklungspfades erhöhten sie den *politischen Druck auf die Stadt zur Kompromissfindung* für eine erfolgreiche Umsetzung. Die Stadt war unter Zugzwang, da das Solardorf als Fortentwicklung dieser Ziele und Programme vermarktet worden war.
Allerdings wirkten lokale institutionelle Faktoren auch hemmend, indem diese Unsicherheit über Möglichkeiten einer *rechtlichen Verpflichtung zur Konzeptumsetzung* insbesondere durch Anwohner, also über *die rechtliche Durchsetzbarkeit von Serviceerbringung im rechtlichen Neuland „dezentraler Infrastruktur",* schufen beziehungsweise verstärkten. Diese Unsicherheit zeigte sich besonders in der Umsetzung des „goodnest Solardorf" und ergab sich aus den konkreten Lösungen für eine solche Verpflichtung (Bebauungsplan, Grundbucheinträge, Kaufverträge), die vor Ort gefunden worden waren und so einen neuen institutionellen Rahmen schafften. Diese führten zu rechtlichen Pfadabhängigkeiten, bei denen Verpflichtungen im Widerspruch zu den veränderten Realitäten der Umsetzung standen und demzufolge die Kompromissfindung erschwerten.
Ferner kann das Scheitern des „Sonnendorf Ossenmoor" noch in der Projektierungsphase auf lokale Marktstrukturen zurückgeführt werden. Offenbar standen keine Geschäfts- oder Finanzierungsmodelle für Investoren, Kreditgebern und Bauträgern zur Verfügung, die eine Beteiligung profitabel und attraktiv hätten erscheinen lassen.
Anreize und Regulierungen wirkten in ambivalenter Weise. Einerseits schufen *Nachhaltigkeitsstrategien und Rahmengesetzgebung des Bundes sowie des Landes Schleswig-Holstein* wie zum Beispiel die der Energiewende Momentum und Anreiz für Pioniergeist und erhöhten den politischen Druck für innovative städtische Programme und Handlungen. *Nachhaltigkeitswettbewerbe von Bund und Land Schleswig-Holstein* schienen diese Rahmen- und Richtungsgebung insbesondere durch den Reputationsgewinn für die Stadt weiter zu unterstützen. Anderseits waren Anreize und Regulierungen ein entscheidender Faktor, der die erfolgreiche Umsetzung der Leitidee hemmte. Zunächst stellte die Komplexität und hohe Dynamik der Rechtslage im Bereich Erneuerbare-Energien eine Herausforderung für die Planung dar. Jedoch entscheidend war die Tatsache, dass im Laufe der Umsetzung ein *Widerspruch zwischen der technisch möglichen Funktionalität und dem geltenden Recht* deutlich wurde, die volle Funktionalität des Konzeptes folglich nicht realisierbar und Alternativen (wie zum Beispiel die Netzübernahme durch die Stadtwerke) rechtlich notwendig war. Beispielsweise steht die konzeptualisierte Funktionalität des Smart-Grids im Widerspruch zum Energiewirtschaftsgesetz und Erneuerbare Energien Gesetz (siehe freie Anbieterwahl und Einspeisevergütung).

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt diskutiert auf Basis von Tabelle 8 die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad des Projektes bestimmt haben, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Er diskutiert wie Akteure mit unterstützenden und hemmenden Einflussfaktoren umgingen, um die Kopplung voranzutreiben. Der Fokus liegt hier auf Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen, welche innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen.
Zunächst werden die für den Entwicklungspfad relevantesten Akteure vorgestellt (siehe Tabelle 11). Auf der Seite der öffentlichen Hand werden Handlungen besonders durch Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse vorangetrieben. Er ist der zentrale Akteur, der stellvertretend für die Stadt Norderstedt handelte. Er entwickelte die Nachhaltigkeitsziele Norderstedts durch Handlungen in seinem Zuständigkeitsbereich fort und unterstützte das Solardorf als Modellprojekt nachhaltiger Stadtentwicklung durch gemeinsame Vermarktung, Mediation zwischen Entwickler, Bauherren und Stadt und rechtliche Rahmensetzung (Freigabe Bauland und Konzeptfestschreibung in städtebaulichem Vertrag). Die Stadtwerke Norderstedt nahmen eine ambivalente Rolle ein, als Veto-Spieler einerseits sowie als (potenziell) starker Partner für die Umsetzung andererseits (siehe Übernahme der Quartiersnetze für Strom und Wärme). Das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein in Zusammenarbeit mit Bundesnetzagentur beeinflusste die Kompromissfindung maßgeblich durch die Prüfung der Rechtmäßigkeit der Modalitäten der Konzeptumsetzung und ihre Handlungsaufforderung.
Auf der Seite des Marktes wurde der Entwicklungspfad insbesondere durch den Investor beziehungsweise Erschließer Schilling Immobilien geprägt. Dieser übernahm die Führung in der Projektierung und Umsetzung des „goodnest Solardorf“ als Projektleiter und nach Aufgabenentbindung des Ingenieurbüros EST Volker Stracker (Leitung technische Planung „goodnest Solardorf“;) auch als technischer Leiter. Schilling ist der zentrale Akteur des Entwicklungspfades, ohne dessen unternehmerische Handlungen die Leitidee nicht umgesetzt worden wäre.
Ferner sind die Anwohner des Solardorfes zentrale Akteure, als Kunden von Schilling Immobilien und des Konzepts, als Bauherren, also als Federführende für die objektbasierte Umsetzung, sowie als Nutzerinnen und Nutzer der alternativen Infrastruktur.
Im Kern finden Handlungen im Rahmen eines Dreiecksverhältnisses zwischen Stadt (Bosse), Investor/Erschließer Schilling und Bauherren/Anwohner beziehungsweise orientieren sich an diesem.

Tabelle 11: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad des Solardorfes in Norderstedt

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse (stellvertretend für Stadt Norderstedt)	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene)	Fortentwicklung der Nachhaltigkeitsziele Norderstedts; Unterstützung des Solardorf als Modellprojekt nachhaltiger

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
			Stadtentwicklung; Unterstützt Solardorf bei (Werbung, Mobilisierung von Partnern); Freigabe Bauland und Konzeptfestschreibung in städtebaulichem Vertrag; anfangs Mediation zwischen Entwickler, Bauherren und Stadt
Stadtwerke Norderstedt	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (quasi-öffentlich)	Betreiben Blockheizkraftwerk; Übernehmen Quartiersnetze für Strom und Wärme
Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein	Regional	Öffentliche Hand (Landesebene)	Amtliche Bewertung über Rechtmäßigkeit privater Netze und Sanktion
Bundesnetzagentur	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Amtliche Bewertung über Rechtmäßigkeit privater Netze und Sanktion
Schilling Immobilien	Multi-level (lokal – national)	Markt	Projektierung „goodnest Solardorf“; Projektleitung; Baugebietsentwicklung
Ingenieurbüro EST Volker Stracker	Multi-level (lokal – national)	Markt	Technische Planung „goodnest Solardorf“; von technischer Leitung entbunden
Bauherren/Anwohnerinnen und Anwohner	Lokal	Markt; Gemeinschaft	Kunde, Bauherr für objektbasierte Umsetzung und Nutzer

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen zielen auf die Ermöglichung der Entwicklung und Verankerung von Innovationen ab. Im Verlauf des Entwicklungspfads zielten Handlungen insbesondere auf die (Ermöglichung der) Entwicklung der Innovation (Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung) und die Vermarktung der Leitidee zur Selbstpositionierung als Pioniere des Wandels sowie zur Fortentwicklung unternehmerischer oder stadtplanerischer/-politischer Innovation und Innovationsfähigkeit. Handlungen zeichneten sich sowohl durch unternehmerische (Schilling) und politische (Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse) Führung und Risikobereitschaft in der (Fort-)entwicklung der Leitidee als auch Kooperation zwischen Stadt (Bosse) und Wirtschaft (Schilling) aus, mit dem Ziel Synergieeffekte zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung zu schaffen und zu nutzen. Allerdings bestanden die

größten Herausforderungen in Handlungen zur Anbindung an den Kontext. Handlungen zielten weniger auf der Schaffung eines explizit geschützten Raumes für Experimentieren ab, sodass Umsetzung der Leitidee als Wohngebietsentwicklung im Rahmen des erfolgte.
Die **Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung** wurde zunächst durch die *Bildung eines Netzwerks* aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien aus Norderstedt und der Region vorangetrieben. Interesse an und Erfahrungen aus unternehmerischer Tätigkeit im Bereich Solarenergie und nachhaltigem Bauen trieben die Entwicklung der Leitidee und die weitere Planung. Das Netzwerk war zwar ausschlaggebend für Entwicklung der Innovation, denn aus diesem heraus organsierte sich die „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“, jedoch insofern in ihren Handlungen eingeschränkt, da relevante Partner fehlten. Das „Sonnendorf Ossenmoor“ konnte schließlich nicht umgesetzt werden, da weder notwendige Partner aus der Wirtschaft (zum Beispiel Bauträger) noch Finanzmittel mobilisiert werden konnten.
Schilling *navigierte und verknüpfte Innovationen* aus sowohl die lokale/regionale Nische für Elektromobilität und die breitere Nischen für nachhaltiges Bauen und regenerative Energien. Die Nische für Elektromobilität war insbesondere bei der Planung („goodnest Solardorf“) relevant, da die Mobilisierung von Partnern (wie zum Beispiel des Elektromobilität-Pioniers aus der Region Sirri Karabag) mit Konzeptänderungen (hier die Idee der Nutzung von Elektrofahrzeugen als mobile Speicher) einhergingen.
Somit wurde die *Führungsrolle im Experimentieren* mit Innovation „dezentrale/gekoppelte Infrastruktur“ zunächst durch ein loses Netzwerk, später durch die „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ und schließlich durch Schilling übernommen. Letztere ist hervorzuheben, da Schilling besonderen Pioniergeist durch die Entwicklung und Vermarktung eines erweiterten Projektentwicklermodells bewies.
Handlungen zielten weniger auf der **Schaffung eines explizit geschützten Raumes für Experimentieren** samt expliziter Unterstützung durch Politik und Forschung sowie Transparenz über Risiken und Kontingenzpläne ab. Ein solcher hätte in Hinblick auf die ambitionierte technische Planung (Planung am Rande des technisch möglichen) unterstützend wirken können. Stattdessen wurde die Projektumsetzung als Wohngebietsentwicklung im Rahmen des Marktes über Markteilnehmer und nach Regeln des Marktes versucht, welches zu den identifizierten Komplikationen führte.
Von Beginn an wurden Maßnahmen zur **Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation** umgesetzt. Diese waren insbesondere dazu wichtig, um Kunden (das heißt Anwohner) sowie Finanzierungspartner zu gewinnen. Hier haben insbesondere die „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH“ sowie später Schilling Immobilien mit Baudezernent und Erstem Stadtrat Bosse zusammengearbeitet, um gemeinsam die *Vermarktung* (beispielsweise durch gemeinsame Informationsveranstaltungen), die *Mobilisierung von Partnern* sowie die *Akquise von Finanzmitteln* voranzutreiben. Schilling stärkte die Sichtbarkeit der Innovation durch die *Entwicklung und Vermarktung eines erweiterten Projektentwicklungsmodells.* Die Leitidee eines energieautarken Solardorfes wurde für potenzielle Kunden als integraler Bestandteil eines für Privatkunden/Endnutzer nachzufragendes Produktes („goodnest Solardorf“) vermarket (indem Schilling Infrastruktur für Energieversorgung und Mobilität in die Planung und Umsetzung einer

privaten Immobilienentwicklung integrierte) und somit für einen anderen und größeren Kundenkreis sichtbar. Ferner, da die Stadt das Solardorf als Modellprojekt nachhaltiger Stadtentwicklung vermarktete, entstand durch die erhöhte Sichtbarkeit der Innovation ein politischer Handlungsdruck. Die Kehrseite der *öffentlichkeitswirksamen Zusammenarbeit und Positionierung des Solardorfes als Modellprojekt*, also der erfolgreiche Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation, führte im Verlauf des Entwicklungspfades zu einem *Zugzwang* insbesondere für die Stadt Norderstedt, das Risiko eines Gesichtsverlusts bei Scheitern zu minimieren und schuf so *Anreize für kompromissbereite Verhandlungen*.
Die **Anbindung der Innovation an den Kontext** stellte sich als größte Herausforderung der Umsetzung dar. Zwar wurde einerseits eine Anbindung versucht, indem Synergieeffekte zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung gesucht und geschaffen wurden. So wurde das Solardorf als gemeinsame Zukunftsvision diskutiert und nach Außen kommuniziert. Es wurde ein quartiersübergreifendes Blockheizkraftwerk errichtet. Ferner stellt der städtebauliche Vertrag/Bebauungsplan einen expliziten Versuch dar, die Anbindung der Innovation zu ermöglichen, da dieser das *Konzept in städtebauliche Verpflichtungen für den Entwickler gegenüber der Stadt übersetzte*.
Allerdings wurden andererseits rechtliche Hürden zwar antizipiert aber die Tragweite der Implikationen der technisch möglichen Funktionalität im rechtlichen Neuland „dezentralisierte Infrastruktur“ unterschätzt. Aufgrund des Widerspruchs zu geltendem Recht (siehe Energiewirtschaftsgesetz und Erneuerbare Energien Gesetz), konnte die volle Funktionalität des Konzeptes nicht realisiert werden und Verhandlungen über Alternativen (beispielsweise Netzübernahme durch Stadtwerke) und Kompromissfindung wurden aus juristischer Sicht notwendig. Es steht außer Frage, dass der institutionelle Rahmen im Voraus nicht ohne weiteres hätte angepasst werden können, da rechtliche Widerspruche auf Bundesgesetze zurückzuführen sind. Allerdings hätte die *Behördliche Intervention* durch das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein sowie die Bundesnetzagentur und die Eskalation einer *Kompromissfindung ausschließlich über den Rechtsweg und nach ausdrücklicher juristischer Beratung* vermieden werden können. Explizite Handlungen während der Planung, um die Herausforderungen für die Anbindung der Innovation an den Kontext zu adressieren (beispielsweise eine rechtliche Machbarkeitsstudie), hatten fördernde Dynamiken entstehen lassen können.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Dieser Abschnitt diskutiert auf Basis von Tabelle 8 die Orchestrierungs-Handlungen, die innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Orchestrierungs-Handlungen zielen auf eine Koordinierung von skalen- und sektorübergreifenden Akteuren und Netzwerken ab, um Synergieeffekte zwischen Strategien, Aktionen und Ressourcen und Kohärenz zu schaffen. Im Verlauf des Entwicklungspfades ermöglichten Orchestrierungs-Handlungen vor allem das Schaffen von sowohl Anreizen und Handlungsorientierung als auch politischen Druck (strategische Richtungssetzung) durch die Stadt Norderstedt (vordergründig Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse) sowie Skalen- und ressortübergreifenden Mediation in der Form einer vernetzten Kommunikation zwischen

verschiedenen Akteuren zwecks gemeinsamer Suche nach Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung und später für Verhandlungen beziehungsweise gemeinsame Kompromissfindung. Ein Setzen von Rahmenbedingungen erfolgte insbesondere durch behördliche Intervention.
Die Stadt Norderstedt *setzte langfristige Nachhaltigkeitsziele sowie Anreize* für Nachhaltigkeitsinnovation und bot so einen *Rahmen und eine strategische Richtung für lokale Handlungen* (**strategische Richtungssetzung**) an. So setzte sie auch den Rahmen und Anreiz für die Konzeptentwicklung (sowohl für das „Sonnendorf Ossenmoor" als auch für das „goodnest Solardorf") und schließlich dessen Umsetzung. Das Entstehen des ursprünglichen Momentums für die Geburt der Leitidee speist sich neben transformativen Handlungen wie Netzwerkbildung (siehe Abschnitt 3.2.1) auch aus der strategische Richtungssetzung, da langfristige Nachhaltigkeitsziele *politische Unterstützung vermittelten* und somit eine grundsätzliche Umsetzbarkeit suggerierten
Die strategische Ausrichtung der Stadt Norderstedt ging über die Nachhaltigkeitsstrategien und Rahmengesetzgebung des Bundes sowie des Landes Schleswig-Holstein hinaus, wie es in der einer Positionierung Norderstedts unter Deutschlands führenden Städten deutlich wird (siehe zum Beispiel die Einladung zum Dialog „Nachhaltige Stadt"). Die gemeinsame Richtung bildete den Startpunkt für die *Suche nach Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung* (in der Planung) in dem Austausch zwischen Erschließer Schilling und Baudezernent und Ersten Stadtrat Bosse, zum Beispiel die Errichtung des quartiersübergreifenden Blockheizkraftwerks sowie die Vermarktung des Solardorfes als Modellprojekt für städtische Nachhaltigkeitsziele. Die Kehrseite der strategischen Richtungssetzung schuf ein gemeinsames Verantwortungsgefühl und erhöhten politischen Druck für erfolgreiche Verhandlungen und Kompromissfindung.
Allerdings war die schlussendliche Kompromissfindung weniger das Ergebnis von konstruktiven Verhandlungen, als von einem **Setzen von Rahmenbedingungen** durch das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein sowie der Bundesnetzagentur, also der *behördlichen Intervention und der Eingrenzung von Handlungsmöglichkeiten* als Reaktion auf Spannungen und Widersprüchen zwischen Umsetzung und Anreizen und Regulierungen einerseits sowie Umsetzung und lokalen institutionellen Faktoren (rechtliche Verpflichtungen zur Konzeptumsetzung) anderseits.
Sowohl die Geburt als auch die Umsetzung waren durch *Vernetzung und Dialog zwischen Wirtschaft, Politik/Verwaltung und Zivilgesellschaft* geprägt: zunächst innerhalb des sich entwickelnden Netzwerkes aus Aktivisten, Lokalpolitkern, Experten und Unternehmer im Bereich nachhaltiges Bauen und regenerativer Energien über die Leitidee eines energieautarken Quartiers und später zwischen diesem (genauer der „Sonnendorf neue Lebensräume GmbH") sowie später mir Investor/Erschließer Schilling und der Stadt (vordergründig Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse) über das Solardorf als (potenzielles) Modellprojekt nachhaltiger Stadtentwicklung. Baudezernent und erster Stadtrat Bosse agierte in diesem Zusammenhang zunächst als *Vermittler zwischen der Stadt, Entwickler und den zukünftigen Kunden/Anwohnern*. Im weiteren Verlauf verhandelte dieser jedoch zunehmend als Verhandlungspartner mit eigenen Partikularinteressen. Es lässt sich argumentieren, dass eine **Skalen- und ressortübergreifenden Mediation** eher in der Form einer *vernetzten Kommunikation zwischen*

verschiedenen Akteuren als durch die Schaffung eines zentralen Knotenpunktes oder eine Mediation durch einen neuralen Dritten erfolgte. Dennoch führten Stadt, Entwickler und Kunden/Anwohner Verhandlungen mit Willen zum Kompromiss. Sie verfolgten eine aktive Kompromissfindung mit dem Ziel eines Kompromisses im Rahmen des technisch und rechtlich Möglichen. Allerdings ist das Verhandlungsergebnis, wie bereits erwähnt, maßgeblich durch die behördliche Intervention entschieden worden.
Ferner lässt sich argumentieren, dass die Entwicklung sowohl während der Projektierung als auch während der Kompromissfindung von einer sektorenübergreifenden (zwischen Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft) und skalenübergreifenden (zwischen Kommunal-, Landes- und Bundesebene) Mediation, die Projektierung und Projektmanagement eng mit relevanten Behörden auf Bundesebene verknüpft, profitiert hätte. Da nicht alle möglichen Implikationen und Probleme im Voraus eruiert werden können, wäre ein intermediärer Akteur oder Kontaktpunkt hilfreich gewesen, auch um den Weg der Anfrage/Beschwerde gegenüber den zuständigen Behörden beziehungsweise den Weg der Klage vor Gericht zu vermeiden.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Folgend diskutieren wir wie die Infrastrukturkopplung zu einer Nachhaltigkeitstransformation beiträgt. Die Beantwortung dieser Frage ist relativ zu der funktionalen und geographischen Systemeingrenzung, die eingangs vorgenommen worden ist.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag des Solardorfes in Norderstedt wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.

(1) Leistungsfähigkeit der Kopplung
Die Idee der Stromerzeugung und -speicherung vor Ort, hier im Objekt/Haus, zur Eigenversorgung verspricht eine hohe Leistungsfähigkeit bei relativ geringem organisatorischem Aufwand (sofern Anlage installiert und wenig wartungsanfällig ist). Grundsätzlich wird auf diese Weise das Problem der Speicherung von Solarstrom dezentral gelöst, erhöht jedoch die technische Komplexität des Energiesystems vor Ort. Bereits im Konzept sollten Energiebedarfe nicht allein durch Photovoltaik, sondern komplementär auch durch Strom aus dem Blockheizkraftwerk des Quartiers gedeckt werden. Da dieses nicht im Quartier erbaut worden ist, erfolgt die Deckung der Energiebedarfe letztendlich aus öffentlichen Quellen, dem Blockheizkraftwerk der Stadtwerke (Röntgen 2017, mündlich). Das Potential der expliziten Skalierung der Produktion durch Photovoltaik-Anlage und des Blockheizkraftwerks um Eigenbedarf des Solardorfs zu decken wird somit nicht ausgeschöpft. Somit besteht auch kein Anreiz für nutzerseitige Anpassung des Verbrauchs an die Produktion. In der Zukunft gilt es zu testen, ob der Speicher in Hinblick auf die fehlende Möglichkeit eines physischen Austausches im Stromverbund und der Speicherung in Elektrofahrzeuges ausreichend bemessen worden ist

und hier ein Risiko für die zukünftige Leistungsfähigkeit besteht. Strom und Wärme werden im Blockheizkraftwerk durch Kraft-Wärme-Kopplung effizient produziert, jedoch gibt es technische Probleme bei den objektseitigen Installationen sowie dem Fernwärmenetz (Koops 2017, mündlich). Anwohner, die Elektrofahrzeuges betreiben (bisher ein Anwohner) beziehungsweise betreiben wollen, können nur auf eine einfache statt bi-direktional ladefähige Ladestation zurückgreifen, was die Funktionalität der Speicherung in Elektrofahrzeuges ausschließt.
Im Vergleich zwischen Konzept und der tatsächliche Umsetzung wird deutlich, dass Funktionalität und technischen Komplexität der Kopplung erheblich reduziert worden ist: (1) die intelligente Steuerung durch Smart-Grid und (2) die Kopplung der Hauskraftwerke mit Elektrofahrzeuges fehlen und eine der zentralen Leistungen, eines Austausches im Stromverbund und damit eine verminderte Abhängigkeit vom öffentlichen Netz, nicht erreicht. Insbesondere die Verfügbarkeit von Technologie (bi-direktionale Ladebox) sowie die Tatsache, dass die technisch mögliche Funktionalität im Widerspruch zu geltendem Recht (Energiewirtschaftsgesetz und Erneuerbare-Energien-Gesetz) steht, haben die Entfaltung des Nachhaltigkeitspotentials negative beeinflusst. Das Energierecht müsste novelliert werden, um die volle Funktionalität zu ermöglichen.

(2) Soziale und ökonomische Verträglichkeit
Das Konzept erforderte nutzerseitige Investitionen für Photovoltaik-Anlage und Speicher. Da die objektseitigen Installationen nicht durch einen Bauträger, sondern durch die vom jeweiligen Grundstückseigentümer bestellten Bauträger durchgeführt wurden, ergibt sich ein erheblicher Mehraufwand für Kunden für die Installation sowie eine finanzielle Belastung für Wartung und Instandsetzung. Interessanterweise hätten Anwohner laut Konzept die Insel-Netze kollektiv, also beispielsweise durch Gründung einer Kooperative, betreiben sollen (Schilling 2017, mündlich), welches die ökonomische Tragfähigkeit für Anwohner weiter infrage gestellt hätte. Eine dauerhaft kostendeckende Energiebereitstellung ist fraglich, da die Bedarfsdeckung letztendlich durch öffentliche Netze erfolgt (und aufgrund der Tatsache, dass keine Skalierung der Produktion durch Photovoltaik-Anlage und Quartiers-Blockheizkraftwerk für den Eigenbedarf durchgeführt wurde).
Die gefundenen Lösungen zur vertraglichen Verpflichtung zur Umsetzung des Konzeptes resultierten in einem de facto Parkverbot für konventionelle Autos, so dass Anwohner diese in angrenzenden Wohngebieten parken (Röntgen 2017, mündlich). Dies scheint eine sozial unverträgliche Lösung zu sein. Darüber hinaus kann nur spekuliert werden, ob und inwiefern das Energiekonzept in Nutzerverhalten (der Bewohnerinnen und Bewohner) eingreift und somit nutzerrelevante Implikationen hat.
Bei einer vollständigen Umsetzung hätte eine Investition von 70.000 EUR pro Haushalt für das Solarpaket getätigt werden müssen (Fischer 2017a). Diese fällt in Relation zu den Grundstückspreisen in Norderstedt weniger ins Gewicht (Schilling, 2017, mündlich), könnten aber in anderen Lokalitäten als Hürde angesehen werden (größere Investitionssumme), und das unabhängig von der potenziellen Amortisierung der Investitionskosten über die Zeit.
Die ökonomische Verträglichkeit wurde folglich durch Faktoren, die die volle Funktionalität zum Beispiel des Smart-Grids nicht erlaubten, negativ beeinflusst, speziell geltendes Energierecht;

die soziale Verträglichkeit durch den Widerspruch zwischen vertraglichen Verpflichtungen und den Realitäten der Umsetzung. Ein angepasster beziehungsweise neu entwickelter rechtlicher Rahmen würde die Verträglichkeit erhöhen.

(3) Ressourcenschonung und -effizienz
Die Erzeugung und Nutzung von regenerativer Energie (Photovoltaik-Anlage) senkt den Bedarf des Quartiers an Elektrizität aus der Verbrennung fossiler Energieträger (Öl oder Gas) sowie die damit zusammenhangenden Emissionen von Treibhausgasen. Eine Quantifizierung der Reduzierung ist hier schwer. Da die Bedarfsdeckelung durch einen klassischen Stromanschluss an öffentliche Netze erfolgt, hängt die tatsächliche Reduktion von der Wahl des Stromanbieters ab (Schilling 2017, mündlich). Eine flächendeckende Nutzung von Elektrofahrzeuges, gespeist aus regenerativer Energie, hätte Emissionen gegenüber konventionellen Autos reduziert.
Eine größere Einsparung von Primärenergie sollte insbesondere durch Kopplung und intelligente Steuerung erfolgen, ist jetzt jedoch in der Realität nur bei den Hauskraftwerken möglich. Das Blockheizkraftwerk (im engere Sinne nicht Teil des Quartiers) hat zwar einen hohen Wirkungsgrad von 90% wird jedoch mit Gas betrieben (Fischer 2017b).
Ferner reduzieren dezentrale Netze im Vergleich zu landesweiten Verteilungsnetzen den Ressourcen- und Flächenbedarf (Schilling, mündlich).
Der Beitrag an Ressourcenschonung und -effizienz wurde durch die Verfügbarkeit der Technologie (keine bi-direktionale Ladebox für Elektrofahrzeuges) und dem geltenden Energierecht, das die volle Funktionalität beispielsweise des Smart-Grids nicht ermöglichte, negativ beeinflusst.

(4) Versorgungssicherheit im Kontext wetterbedingter Störungen
Bei Ausfall der Stromproduktion durch die Stadtwerke kann Strom nach wie vor mit den Photovoltaik-Anlagen der Haushalte erzeugt werden. Dies gilt auch für wetterbedingte Störungen. Umgekehrt ist der Bezug von Strom durch den Anschluss an das städtische Stromnetz sogar bei Defekt der Photovoltaik-Anlage vor Ort gegeben. Durch diese Redundanzen ist die lokale Energieversorgung relativ wenig störanfällig. Allerdings ist der Energiespeicher (hier Hausbatterie) aufgrund der fehlenden Möglichkeit eines physischen Austausches im Stromverbund und der Speicherung in Elektrofahrzeugen relativ klein.
Wäre das Smart-Grid installiert worden, hätten weitere Energiequellen integriert und so leichter auf sich mittelfristige ändernde Rahmenbedingungen reagiert werden können.
Fernwärme wird nur von dem benachbarten Blockheizkraftwerk bezogen. Hier zeigt sich bereits, dass das Fernwärmenetz in dem Quartier relativ störungsanfällig ist und oft gewartet werden muss (dies ergibt sich jedoch eher aus der konkreten Umsetzung vor Ort).
Bei einer vollständigen Umsetzung des Konzeptes wären die Insel-Netze entweder durch den Entwickler oder, laut Entwickler wie im Konzept vorgesehen, durch Anwohner als Kooperative betreut worden (Schilling 2017, mündlich). Hier ist fraglich, ob die benötigte Expertise für Wartung vorhanden gewesen wäre, um eine relative Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein und die Bundesnetzagentur hatte dies in ihre Bewertung verneint. Die bereits gegebene

Störungsanfälligkeit des Fernwärmenetzes könnte in der Planung begründet sein (Röntgen 2017, mündlich).

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Wie eingangs erläutert hat die Leitidee eines energieautarken Solardorfes mit dem Fokus auf eine intelligente Kopplung von Energie und Mobilität großes Transformatives Potential, zu einer Nachhaltigkeitstransformation im Energieversorgungsystem sowie Transport- beziehungsweise Verkehrssystems in Norderstedt und darüber hinaus zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung beizutragen. Der Fall zeichnet sich dadurch aus, dass laut Konzept explizit mehrere Infrastrukturkopplungen in einem geographisch abgegrenzten Raum (des Quartiers) erfolgen sollten, die zusammen eine dezentrale Energieversorgung für den Eigenbedarf sicherstellen. Die Leitidee hat dementsprechend das Potential, transformative Prozesse sowohl auf physischer (Neubau beziehungsweise Umgestaltung der Energieinfrastruktur) als auch auf organisatorischer Ebene voranzutreiben. Erstens wird mit einer Dezentralisierung von Infrastruktur, das heißt mit Infrastruktur zur Eigenversorgung von Haushalten beziehungsweise Wohnquartieren, sowie mit einer komplexen, skalen-übergreifenden Kopplung, das heißt mit einer Verknüpfung von Infrastruktur-Komponenten zwischen Haushalt, Quartier und Stadt, im Rahmen eines geographisch abgegrenzten lokalen Raumes experimentiert. Mit anderen Worten wird explizit mit neuartiger Kopplung als „Insel-Infrastruktur“ im Rahmen von und teilweise in Verbindung mit bestehender, bisher dominanter, Infrastruktur der Stadt experimentiert. Entgegen der expliziten Zielsetzung der Ideenstifter, einen Beitrag zur Energieautarkie zu leisten, sehen wir das Potential eher in einer Dezentralisierung, bei der Infrastruktur-Komponenten mit klarem Fokus auf lokal angepasste Lösungen und auf Eigenverbrauch intelligent verknüpft werden. In der Konsequenz würde das Quartier zukünftig eine relevante organisatorische Einheit beziehungsweise Regelungsebene darstellen, um lokale Lösungen zu finden und schließlich um die Funktionalität der Infrastruktur zu gewährleisten. Eine dezentrale Energieversorgung aus regenerativen Energien könnte auch einige Hemmnisse der Energiewende umgehen, namentlich der Widerstand gegenüber der Installation von großen Speicheranlagen und landesweiten Verteilungsnetzen, die mutmaßlich Kulturlandschaften negative verändern beziehungsweise Ökosysteme schädigen, und somit nutzerseitige Nachfrage nach regenerativen Energien erhöhen. Zweitens wird Mobilität als integraler Bestandteil eines nachhaltigen Wohnkonzeptes in der Planung adressiert und somit Änderungen an dem Kontext individuellen Handelns als Startpunkt für Änderungen von Nutzerverhalten angestoßen. Drittens würden Quartiersanwohner durch den Fokus auf Eigenversorgung zu Prosumenten von Energie. Dies verspricht einen Beitrag zur Demokratisierung des Energiesystems.
Aufgrund der erheblichen Abweichungen der Umsetzung von dem ursprünglichen Konzept konnte das Potential allerdings nicht voll ausgeschöpft werden. Die Transformative Wirkung des Solardorfes liegt daher in erster Line in dem Lernen und der Wissensgenerierung aus dem Experimentieren mit (1) der Planung und Umsetzung eines explizit auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wohnquartiers, (2) der Dezentralisierung von Infrastruktur und einer neuen Regelungsebene „Quartier“, insbesondere in Hinblick auf (a) die Rechtmäßigkeit der technisch

möglichen Funktionalität innovativer Infrastruktur im Lichte des geltenden (Energie-)Rechts sowie (b) der Setzung eines adäquaten rechtlichen Rahmens zur Verpflichtung dezentraler Einheiten (hier Haushalte) zur Erbringung einer dezentraler Infrastruktur-Leistung zur Sicherstellung der Gesamtfunktionalität (hier Stromerzeugung -und Speicherung) und (3) dem sich andeutenden Rollenwechsel von Anwohnern (zu Prosumenten von Energie) und privaten Immobilienentwicklern (zu Infrastruktur-Entwicklern). Wir können einen Wandel in Bezug auf dominante Strukturen feststellen, da eine alternative Infrastruktur im Solardorf umgesetzt wurde. Allerdings ist diese Strukturveränderung nur begrenzt, zum einen, da der diese nur lokal ist und zum anderen, da Änderungen als Folge der Nichtumsetzung des Smart-Grids primär objektbasiert, also nicht wie bei Infrastrukturen üblich im öffentlichen Raum, erfolgten. Folglich sind diese nicht mit einer Veränderung dominanter Strukturen des Energiesystems im herkömmlichen Sinn gleichzusetzen. Ferner wurden keine gesetzlichen Regelungen angepasst. Erste Wandlungsprozesse zeigen sich in Bezug auf Kulturen durch die Auseinandersetzung von potenziellen Kunden mit Fragen nachhaltiger Energieversorgung, Mobilität und Bau sowie durch die geänderte Nachfrage insbesondere nach lokalen/dezentralen Lösungen sowie regenerativen Energien. Kleinere Änderungen in den Praktiken des Regimes präsentieren sich in alternativem Nutzerverhalten im Alltag als Prosumer sowie in einem „erweiterten Projektentwicklungs-Model“, das innovative Infrastruktur als integraler Bestandteil einer privaten Immobilienentwicklung fördert und bewirbt. Die Integration innovativer Infrastruktur-Lösungen im Wohnumfeld und der Rollenwechsel von Anwohnern zu Prosumenten ermöglicht neuen Akteuren, Transformationsprozesse mitzugestalten. Sie haben ‚agency‘.

Schließlich wurden durch die Offenlegung der Spannungen zwischen der Neuentwicklung von dezentraler Infrastruktur zur Eigenversorgung und bestehenden gesetzlichen Regelungen Ansatzpunkte für notwendige Strukturveränderung identifiziert.

Auf einer grundsätzlicheren Ebene, lässt sich argumentieren, dass eine Dezentralisierung von Infrastruktur zwar einen Raum für eine Demokratisierung beispielsweise des Energiesystems eröffnet und eine breitere gesellschaftliche Beteiligung an der Energiewende ermöglichen könnte. Dennoch stellt sich die Frage, ob die überdurchschnittliche Kaufkraft, die in dem Entwicklungspfad zum Tragen kam beziehungsweise notwendig war, nur für eine erste, experimentelle Phase oder grundsätzlich relevant ist, dementsprechend die mögliche Breitenwirkung der Innovation einschränkt und Demokratisierungspotenzale schließlich nicht ausgeschöpft werden können.

Ferner ist kritisch zu hinterfragen, wie transformativ die Kopplung von privater, objektbasierter Stromproduktion und individueller Elektro-Mobilität sein kann. Denn diese adressiert nicht die Frage nach der Notwendigkeit von (Infrastruktur für) Individualverkehr und Privatfahrzeuge, also die grundsätzliche Frage nach einer nachhaltigen Mobilität zum Beispiel im Kontext anderer systematischer Veränderungsdynamiken wie (Autofreie Städte, Stadt der kurzen Wege, Collaborative Economies, etc.).

5 Fazit

Wird der Entwicklungspfad der Leitidee eines energieautarken Solardorfes mit dem Fokus auf die intelligente Verknüpfung von Energie und Mobilität im Verlauf betrachtet fällt auf, dass insgesamt mehr Faktoren unterstützend als hemmend wirkten und dass involvierte Akteure stets bemüht waren, diese zielführend zu adressieren. Daher wurde die Leitidee, wenngleich auch sehr eingeschränkt, umgesetzt.

Sozio-kulturelle Faktoren und **Anreize und Regulierungen** wirkten in ambivalenter Weise, sowohl unterstützend als auch hemmend. Sofern im Rahmen des Marktes experimentiert wird, scheint es kritisch zu sein, ob sich gesellschaftliche Trends (Meta-faktoren) auch in Markt-Nachfrage niedergeschlagen. Die Nähe zu und sozio-ökonomischen Interrelationen mit Metropolregion Hamburg stärkte politischen und unternehmerischen Pioniergeist. Strategien und Rahmengesetzgebung auf Landes- und Bundesebene können Orientierung und Handlungsimpulse für lokale Handlungen von Städten bewirken. Allerdings können Gesetze und Regulierungen auch Planungsunsicherheit bezüglich eventueller rechtlicher Implikationen der Umsetzung hervorrufen und im Widerspruch zur Innovation beziehungsweise bestimmter Aspekte der technisch möglichen Funktionalität stehen und deren Umsetzung beziehungsweise die volle Entfaltung des Innovationspotentials verhindern. Der entscheidende und kritischste Faktor jedoch waren **Metafaktoren** in der Form von **verfügbarer Technologie**.

Transformative Handlungen zielten insbesondere auf die (Ermöglichung der) Entwicklung der Innovation (**Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung**) durch Netzwerkbildung, das Navigieren von unterschiedlichen Nischen und der Verknüpfung unterschiedlicher Innovationen sowie dem Einnehmen von Führungsrollen ab; ferner auf die Vermarktung der Leitidee zwecks Selbstpositionierung der Stadt und des Investors/Erschließers als Pioniere des Wandels sowie zwecks Fortentwicklung unternehmerischer oder stadtplanerischer/-politischer Innovation und Innovationsfähigkeit. Dies ging oft Hand in Hand mit Handlungen **Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation**. Jedoch wurde die Notwendigkeit von adäquaten Handlungen zur **Anbindung der Innovation an den Kontext** unterschätzt. Handlungen zielten hier weniger auf der Schaffung eines explizit geschützten Raumes für Experimentieren ab, sodass Umsetzung der Leitidee als Wohngebietsentwicklung im Rahmen des erfolgte. Eine Synergien schaffende Vermarktung sowie die Übersetzung des Konzepts in den städtebaulichen Vertrag/Bebauungsplan kann nur als erster Schritt gesehen werden. Es lässt sich argumentieren, dass es eine Besonderheit der Umsetzung von innovativer Infrastruktur ist, dass eventuelle, rechtliche Implikationen antizipiert und in die Planung aufgenommen werden müssen, das heißt mit expliziten Handlungen zur Anbindung der Innovation an den Kontext experimentiert werden muss, da die Umsetzung von innovativer Infrastruktur notwendigerweise mit einer Strukturveränderung beginnt. Es scheint eine Spannung zu bestehen zwischen ambitionierter Planung am Rande des technisch möglichen und der Möglichkeit, am Markt zu experimentieren, da sonst das Risiko eingegangen wird, wie in Norderstedt auf Kosten der Kunden/Anwohnern zu experimentieren. Dahinter steckt zunächst die Frage, wann Technologie marktreif ist und damit am Markt experimentiert werden kann; fern die Frage nach der Notwendigkeit für Handlungen zur **Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung** im Sinne der Schaffung eines explizit geschützten Raumes für Experimentieren samt Beratung, Transparenz und Risikomanagement.

Im Verlauf des Entwicklungspfades ermöglichten Orchestrierungs-Handlungen vor allem das Schaffen von sowohl Anreizen und Handlungsorientierung als auch politischen Druck (**Strategische Richtungssetzung**) durch die Stadt Norderstedt (vordergründig Baudezernent und Erster Stadtrat Bosse) sowie **Skalen- und ressortübergreifenden Mediation** in der Form einer vernetzten Kommunikation zwischen verschiedenen Akteuren zwecks gemeinsamer Suche nach *Synergien zwischen Projektentwicklung und Stadtentwicklung* und später für Verhandlungen beziehungsweise gemeinsame Kompromissfindung. Das **Setzen von Rahmenbedingungen** ermöglichte die schlussendliche Kompromissfindung, allerdings erst ex-post durch die Intervention des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein und der Bundesnetzagentur.
Allerdings dürfen Faktoren, die von der Innovation unabhängig sind, wie Projektierung und Projektmanagement (inklusive technische Leitung) sowie Kundenverhalten und -Präferenzen nicht unterschätzt werden. Die Leitidee eines energieautarken Solardorfes mit dem Fokus auf eine intelligente Kopplung von Energie und Mobilität war äußerst ambitioniert und daher attraktiv, konnte jedoch schlussendlich nur sehr eingeschränkt umgesetzt werden. Die Mehrzahl der Häuser des Quartiers verfügt heute über eine Photovoltaik-Anlage samt Speicher und ist sowohl an das Stromnetz als auch das Fernwärmenetz der Stadtwerke Norderstedt angeschlossen. Bisher wird lediglich ein Elektrofahrzeug betrieben.
Vor diesem Hintergrund beschränkt sich der realisierte **Nachhaltigkeitsbeitrag** auf die Wirkung der Nutzung von regenerativen Energien (beispielsweise Reduktion von Emissionen) und erhöhte Versorgungssicherheit durch die Komplementierung von lokalen und regionalen Energiequellen. Der **Transformative Beitrag** liegt in erster Line in dem Lernen und der Wissensgenerierung aus dem Experimentieren mit (1) der Planung und Umsetzung einer explizit auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wohnquartier, (2) der Dezentralisierung von Infrastruktur und einer neuen Regelungsebene „Quartier“ und (3) dem sich andeutenden Rollenwechsel von Anwohnern und Immobilienentwicklern. Strukturen wurden nur marginal verändert. Jedoch wurden durch die Offenlegung der Spannungen und Widersprüche zwischen der Neuentwicklung von dezentraler Infrastruktur zur Eigenversorgung und bestehenden gesetzlichen Regelungen Ansatzpunkte für notwendige Strukturveränderung identifiziert. Ferner darf das transformative Potential eines Experiments zur Dezentralisierung von Infrastruktur in seiner Tragweite nicht unterschätzt werden, insbesondere in Hinblick auf emanzipatorische Potentiale und den damit einhergehenden transformativen Potentialen für die breitere gesellschaftliche Nachhaltigkeitstransformation. Allerdings stellt sich die Frage der tatsächlichen Skalierbarkeit der Infrastrukturkopplung, da der Fokus auf objektbasierte und damit privat zu finanzierende und zu managende Lösungen (auf Haushalts- und Quartiersebene) Vor- und Nachteile hat, die es weiter zu entwickeln und untersuchen gilt.

6 Quellenverzeichnis

Bundesministeriums für Bildung und Forschung (2015): Norderstedt. http://www.wettbewerb-zukunftsstadt.de/teilnehmende-kommunen/norderstedt.html. Aufgerufen am: 12.04.2017.

Bundeszentrale für politische Bildung (2009): Geschichte der deutschen Umweltpolitik. http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/dossier-umwelt/61136/geschichte?p=all. Aufgerufen am: 06.02.2017

Bundeszentrale für politische Bildung (2011): Umweltprobleme und Umweltpolitik. http://www.bpb.de/internationales/europa/russland/48002/umweltprobleme-und-umweltpolitik. Aufgerufen am: 13.04.2017.

Bundeszentrale für politische Bildung (2014): Energiewende. http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/klimawandel/177825/energiewende.L etzter Zugriff: 13.04.2017.

Bundeszentrale für politische Bildung (2015): Zukunft der Mobilität: An der Dekarbonisierung kommt niemand vorbei. http://www.bpb.de/apuz/209960/zukunft-der-mobilitaet-an-der-dekarbonisierung-kommt-niemand-vorbei. Aufgerufen am: 13.04.2017.

Fischer, C. (2017a): Das Konzept Solardorf Müllerstraße. http://www.Fischer 2017/das-konzept/. Aufgerufen am: 14.04.2017.

Fischer, C. (2017b): Richtigstellungen. http://www.Fischer 2017/presse-richtigstellungen/. Aufgerufen am: 14.04.2017.

Grünweg, T. (2011): Karabag Fiat 500 E: E-Mobil zum Kleinwagenpreis. http://www.spiegel.de/auto/aktuell/karabag-fiat-500-e-e-mobil-zum-kleinwagenpreis-a-783057.html. Aufgerufen am: 04.03.2017.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Land Schlesweig-Holstein (2017): Nachhaltige Entwicklung – warum?. http://www.Land SH/DE/Themen/N/nachhaltigeentwicklung.html. Aufgerufen am: 12.04.2017.

Röntgen, J. (2015): Ministerium für Energiewende befasst sich mit dem Solardorf. Solardorf-Blog. http://www.geborgenheim.de/ministerium-fuer-energiewende-befasst-sich-mit-dem-solardorf/. Aufgerufen am: 13.04.2017.

Röntgen, J. (2016): Stadt Norderstedt: Beantwortung der Anfragen zum Solardorf Müllerstraße. Solardorf-Blog. http://www.geborgenheim.de/stadt-norderstedt-beantwortung-der-anfragen-zum-solardorf-muellerstrasse/. Aufgerufen am: 13.04.2017.

Röntgen, J. (2017a): Geschichte des Solardorf Müllerstraße. http://www.geborgenheim.de/blog/geschichte-des-solardorf-muellerstrasse/. Aufgerufen am: 13.04.2017.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Schilling Immobilien (2017): Unser Konzept: goodnest Solardörfer, http://www.goodnest.de/konzept/. Aufgerufen am: 03.03.2017.

Sieverding, U. und Schneidewind, H. (2016): Die Demokratisierung des Energiesystems am Scheideweg. In: Ökologisches Wirtschaften. Volume 31. http://www.oekologisches-wirtschaften.de/index.php/oew/article/view/1474/1445. Aufgerufen am: 12.04.2017.

Stadt Norderstedt (2017a): Norderstedts Weg einer nachhaltigen Entwicklung. https://www.norderstedt.de/Leben-Wohnen/Leben/Agenda-21/ZeitzeicheN/. Aufgerufen am: 12.04.2017.

Stadt Norderstedt (2017b): Agenda 21. https://www.norderstedt.de/agenda21. Aufgerufen am: 12.04.2017.

Stadt Norderstedt (2017c): Auszeichnungen für Norderstedt im Bereich nachhaltige Entwicklung / Klimaschutz. https://www.norderstedt.de/PDF/Auszeichnungen_2015.PDF?ObjSvrID=1917&ObjID=5163&ObjLa=1&Ext=PDF&WTR=1&_ts=). Aufgerufen am: 12.04.2017.

Stadt Norderstedt (2017d): Verwaltung & Politik. https://www.norderstedt.de/Verwaltung-Politik. Aufgerufen am: 12.04.2017.

Zerfaß, F. (2011): Sirri Karabag: Der Elektroauto-Pionier. http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/sirri-karabag-der-elektroauto-pionier/4660586.html. Aufgerufen am: 04.03.2017.

7. Multi-Energie-Tankstelle H2BER am Flughafen Berlin-Brandenburg

Autorinnen und Autoren: Marius Hasenheit[1], Daniel Blobel[1], Martin Hirschnitz-Garbers[1], Katharina Hölscher[2], Alfred Olfert[3]

1 Ecologic Institut, Berlin
2 Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
3 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden

1 Einleitung

Bisher scheint die Energiewende in Deutschland größtenteils eine „Stromwende“ zu sein. Während in der Stromproduktion regenerative Energiequellen bereits gut vertreten sind, sind diese etwa in dem Sektor Mobilität kaum vertreten. In Bezug auf nachhaltige Mobilität scheint der Fokus weitläufig auf Elektromobilität zu liegen. Wasserstoffantrieb bietet im Vergleich jedoch einige Vorteile was die Reichweite der Fahrzeuge angeht (Grüger, 2017, mündlich). Auch lassen sich in Form von Wasserstoff Stromproduktionsspitzen, welche bei steigendem Anteil von regenerativen Energiequellen besonders häufig vorkommen, abfedern (Power to Gas). Vor diesem Hintergrund wurde am sich im Bau befindlichen Flughafen Berlin Brandenburg (BER) die Multi-Energie-Tankstelle H2BER geplant.
Dort sollte die für die Wasserstoffproduktion nötige Elektrizität durch die Stromüberproduktionsspitzen eines benachbarten Windkraftwerks bereitgestellt werden. Der produzierte Wasserstoff sollte dann teilweise an der Tankstelle angeboten und teilweise im angeschlossenen Blockheizkraftwerk (BHKW) verbraucht werden.
Diese Fallstudie betrachtet den Werdegang der Multi-Energie-Tankstelle über die verschiedenen Entwicklungsstufen, welche durch verschiedene Förderungen und Hindernisse, etwa die Nicht-Eröffnung des Flughafens, gekennzeichnet wurden. Errichtet wurde die Multi-Energie-Tankstelle H2BER von verschiedenen Partnern unter Leitung von TOTAL. Eingeweiht wurde die Tankstelle im Mai 2014. Seitdem stellt sie alle Kraftstoffe, bis auf Wasserstoff, zur Verfügung. Zwar wird Wasserstoff hergestellt, doch dieser wird höchstens in kleinem Maße (Testphase) im angeschlossenen BHKW verbraucht, da für eine Nutzung in größerem Maße (an der Tankstelle und dem BHKW) die Zulassung vom Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit fehlt (Brouté 2017 mündlich). Damit ist die Umsetzung der Multi-Energie-Tankstelle zwar nicht komplett gescheitert, jedoch wurde das Ziel im laufenden Betrieb Wasserstoff abzugeben, nicht erreicht. Entsprechend verringert ist der Nachhaltigkeitsbeitrag. Sollte zukünftig die fehlende Zulassung erteilt werden, könnte das Nachhaltigkeitspotential weiter ausgeschöpft werden.
Mit dem 500-kW-Druckelektrolyseur (45 bar), dem bislang größten Hochleistungs-Druckelektrolyseur der Welt können bis zu 210 kg H_2/Tag erzeugt werden. Das entspricht etwa 50 Tankfüllungen von Brennstoffzellenautos. Bei ausreichender Abnahme ist die Elektrolyse

modular erweiterbar bis zu 1 t H_2/Tag. Weiterhin die die Speichermöglichkeiten ausreichend dimensioniert um Wasserstofflieferungen annehmen zu können. Zur Tankstelle gehören außerdem ein 45-bar-Hochtank, Wasserstoff-Verdichter und 450-bar-Flaschenspeichertanks zur Speicherung des Wasserstoffs. Durch die Wasserstoff-Elektrolyse, fallen – verglichen mit einer Wasserstoff-Lieferung ab Werk – die entsprechenden Transportkosten weg. Des Weiteren sind die Investitionen vergleichsweise gering. Diese Umstände erlauben eine vergleichsweise wirtschaftliche Wasserstoff-Distribution an der Tankstelle.
Während der Planung und Realisierung der Multi-Energie-Tankstelle, gab es mehrfach Wechsel in dem Konsortium der Industriepartner und damit auch unterschiedliche Möglichkeiten und Partner für die Umsetzung von H2BER. Die Planung der Tankstelle sah etwa vor, dass die elektrische Energie für die Elektroladesäulen sowie die Herstellung des Wasserstoffs durch den 15 km nordöstlich des Flughafens gelegenen Windpark Uckley mit 46 Windenergieanlagen gewonnen wird. Der Windpark wurde jedoch nicht in dieser Form und nicht vom Industriepartner Enertrag realisiert. Stattdessen wurde eine Partnerschaft zu einem anderen Stromlieferanten (Lichtblick) regenerativen Stroms aufgebaut (Brouté 2017, mündlich). Getankt werden sollte der Wassersstoff nicht nur von PKWs und Lastwagen, sondern auch von Bussen der Berliner Verkehrsbetriebe (Öffentlicher Nahverkehr), die bereits in den Jahren davor ihre Flotte von Wasserstoff-betriebenen Bussen ausbaute (Presse- und Informationsamt des Landes Berlin, 2006).
Der in der Anlage produzierte Wasserstoff kann neben der Verwendung als Tankmittel, auch in einem BHKW der Firma 2G zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung verwendet werden. Ein erstmals in dieser Größenordnung bereitgestellter Feststoffspeicher nimmt bis zu 100 kg des aus der Elektrolyse fluktuierend erzeugten Wasserstoffs auf. Alternativ ist das Kraftwerk auch für den Einsatz mit Erdgas (mit 10% Biogas) geeignet. Aufgrund der Strompreise, welche die Wasserstoffproduktion verteuern, und der großen Bedarfsmenge, wird das BHKW heute vornehmlich mit dem Erd-/Biogasgemisch betrieben (Grüger 2017, mündlich). Die thermische Leistung des BHKW wird zur Beheizung der Tankstellengebäude sowie des Wassers der Waschstraße und der Waschboxen verwendet (Brouté 2017, mündlich).
Eine Solaranlage auf dem Dach der Waschanlage (Abbildung 14) unterstützt zudem die Wasserstoffproduktion und versorgt zusätzlich den Shop (Urbansky 2016). Abbildung 14 zeigt nicht nur in vereinfachter Form wie die Tankstelle H2BER aufgebaut ist, sondern auch wie sie sich in die Umgebung einpassen sollte. Augenscheinlich sind der Flughafen, dessen Betrieb die Nachfrage an der Tankstelle sicherstellen sollte, und der Windpark, dessen Stromproduktion eine kosteneffiziente Wasserstoffproduktion ermöglichen sollte, der Grafik zu entnehmen – da sie (zumindest aktuell) keine Rolle spielen.

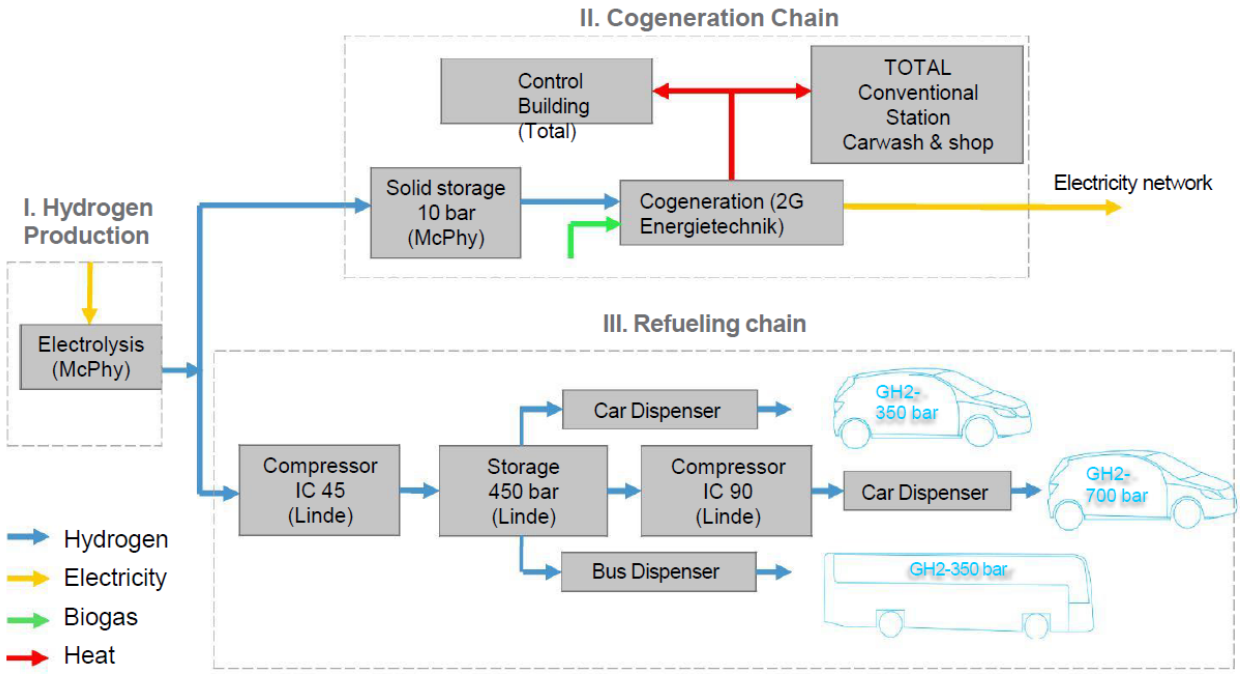
Abbildung 14: Schematische Übersicht der Multi-Energie-Tankstelle H2BER



Quelle: Total (2014)

In Abbildung 14 wird auch die Verknüpfung mit der lokalen Energieversorgung deutlich. Der im BHKW produzierte Strom soll in das lokale Stromnetz eingespeist werden. Tatsächlich ist dies in eingeschränktem Umfang (bisher) die ausschließliche Nutzung des produzierten Wasserstoffs, da dessen Abgabe für Fahrzeuge (noch) nicht genehmigt ist. Weiterhin wurde der Plan wasserstoffbetriebene Busse einzusetzen von den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) gestrichen. Mit Bezug zu der Verknüpfung der Wasserstoffabfüllanlage und -annahme in Verknüpfung mit dem Wasserstoffspeicher ist zu sagen, dass bei einer vollausgelasteten Tankstelle mit einer Vielzahl von wasserstoffbetriebenen Bussen und PKWs, und einer täglichen Wasserstoffproduktionsmenge für etwa 50 Tanks, eher mit einer Wasserstofflieferung (etwa durch den Partner Linde) zu rechnen sei. Abbildung 15 zeigt den Weg des produzierten Wasserstoffs in einer schematischen Übersicht. Deutlich wird etwa, dass mehrere Wasserstoff-Verdichter genutzt werden, sodass Wasserstoff unter verschiedenen Druckverhältnissen angeboten werden kann (350 und 700bar) (Abbildung 15). Gekennzeichnet ist weiterhin, dass das BHKW auch mit Erdgas (mit 10% Biogas) betrieben werden kann.

Abbildung 15: Schematischer Aufbau der Wasserstoff-Infrastruktur und Energieflüsse an der Multi-Energie-Tankstelle H2BER



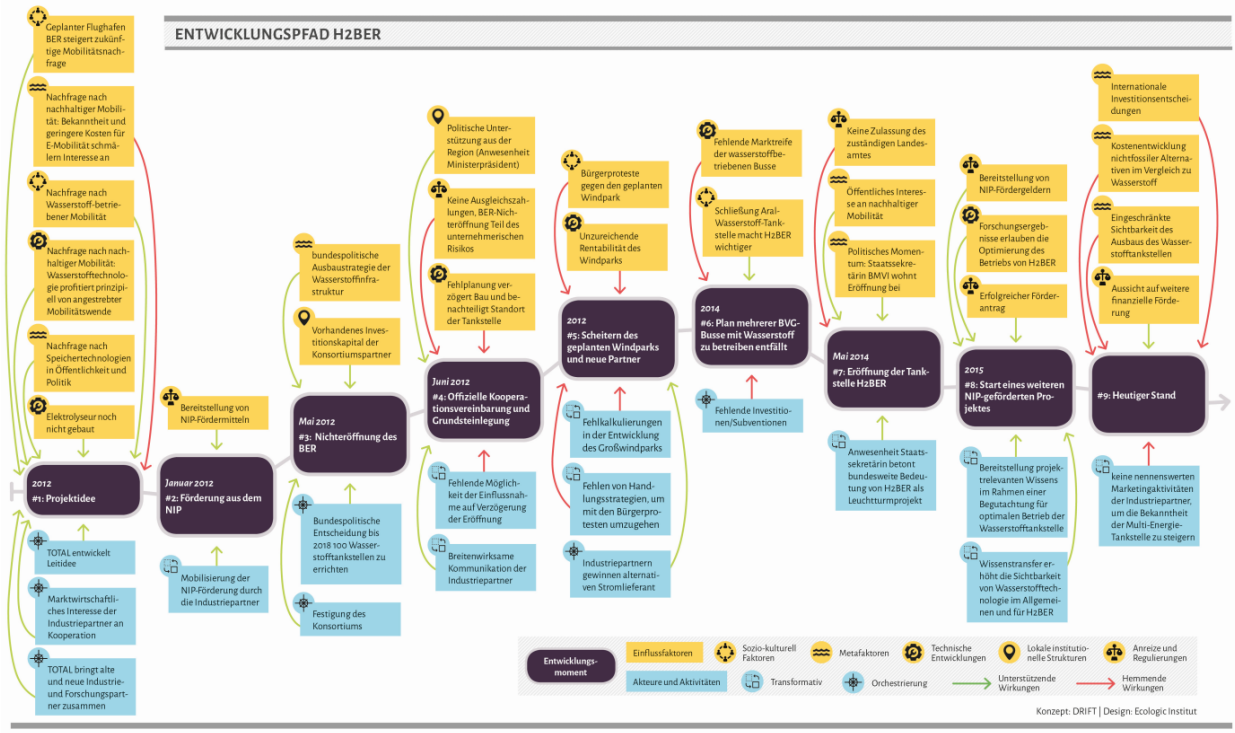
Quelle: Total (2017)

Ziel dieser Fallstudie ist es die Entwicklung der Multi-Energie-Tankstelle H2BER von der Planungsphase bis zum heutigen Stand zu analysieren, dabei wichtige Akteure, Einflussfaktoren und Prozesse zu identifizieren und letztendlich das Nachhaltigkeitspotenzial einzuschätzen. Neben der Auswertung verschiedenster Textquellen, werden auch fünf Interviews genutzt um die (in diesem Fall relativ dünne) Datenlage zu komplettieren. In der Analyse wird zunächst der Entwicklungspfad der Planung und Realisierung der H2BER-Tankstelle anhand von neun Entwicklungsmomenten sowie des heutigen Stand beschrieben (Abschnitt 2). Es wird auch ein kurzer Ausblick auf mögliche Zukunftsszenarien der Tankstelle gegeben. Darauf folgend werden die festgestellten Veränderungsdynamiken genauer beschrieben (Abschnitt 3), dabei werden die verschiedenen Einflussfaktoren und deren Wirkungen auf den Entwicklungspfad, die entsprechenden Akteure und deren Handlungen dargestellt. Um die Fallstudie in einem größeren Rahmen zu betrachten wird schlussendlich der Nachhaltigkeitsbeitrag dieser Infrastrukturkopplung und dessen transformatives Potenzial beziehungsweise transformative Wirkung bewertet (Abschnitt 4). Die Fallstudie endet mit einem zusammenfassenden Fazit.

2 Der Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt fasst den Entwicklungspfad von Idee bis zum heutigen Stand zusammen (siehe Abbildung 16 für die visualisierte Darstellung des Entwicklungspfades). Die wesentlichen Entwicklungsmomente des Entwicklungspfades werden in den nächsten Abschnitten vorgestellt.

Abbildung 16: Der Entwicklungspfad der Multi-Energie-Tankstelle H2BER



2.1 Entwicklungsmoment #1: Formulierung der Leitidee (2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Die Multi-Energie-Tankstellte wurde federführend von TOTAL geplant und umgesetzt. Auch das Konsortium von Industriepartnern wurde von TOTAL geleitet. Neben TOTAL besteht das Konsortium aus Linde (stellten einen Teil der Wasserstoffinfrastruktur bereit), 2G (stellten das BHKW bereit) und Enertrag (sollten den Windpark errichten und den Wasserstoff-Elektrolyseur bereitstellen). Enertrag konnte den Windpark nicht errichten und verkaufte seine Elektrolyseur-Sparte an McPhy, die dann Teil des Konsortiums wurden (Enertrag stieg aus). Die Flexibilität des Konsortiums der Industriepartner als „atmende Gruppe“, wurde dadurch nicht beeinträchtigt – das Verlassen von Enertrag und das Dazukommen von McPhy war ohne weitere Implikationen und ohne großen Aufwand möglich.
Generell ist die Idee, Stromproduktionsspitzen aus der Windenergieerzeugung mittels Wasserstoffgewinnung zu nutzen oder zu speichern, nicht neu. Diesen Wasserstoff in einer Tankstelle anzubieten und in einem BHKW zu verbrauchen, ist hingegen eine neue, innovative Kombination. Wann genau diese Idee entwickelt wurde, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. In einem Zeitungsartikel zur Grundsteinlegung am 06.12.2012 wird lediglich der Geschäftsführer von TOTAL, Hans-Christian Gützkow, mit den Worten zitiert: „Zehn Jahre Forschungs- und Entwicklungsarbeit liegen hinter der Anlage“ (Zielke 2012). Ein weiterer Zeitungsartikel stellt die Motivation und die Wahrnehmung der Industriepartner ein Gelegenheitsfenster nutzen zu können dar: „In Hamburg würden demnächst 100 Busse auf Wasserstoff-Basis umgestellt. Das könnte auch in Berlin-Brandenburg eine Option sein. Und

nicht nur für den öffentlichen Nahverkehr. Auch die Flughafentechnik, Rollfeldfahrzeuge, Gabelstapler und vieles mehr können schon jetzt emissions-frei rollen. Deshalb entschied sich McPhy für den BER als Standort für das zukunftsträchtige Energiewende-Schaufenster“ (Schmidt 2015). McPhy übernahm mit dem 01.10.13 die Elektrolyseur-Handlungen von Enertrag (Nikionok-Ehrlich, 2013; Kretschmer 2017, mündlich). Neben dem öffentlichen Nahverkehr als potentiellen Großkunden von Wasserstoff, bot sich das Gelegenheitsfester vor allem durch den sich im Bau befindliche Flughafen. Durch die Großbaustelle, ergab sich die Möglichkeit die nötige Tankstelle in Nähe dieses Transport- und Logistikhubs zu errichten, anstatt zu ersetzen oder modernisieren, wie an anderen möglichen Orten. Weiterhin erschien die direkte Umgebung (Gemeinde Schönefeld) für den geplanten, dann geplatzten, Windparks, geeignet zu sein.
Die Gemeinde Schönefeld hebt sich vom eher strukturschwachen Bundesland Brandenburg, deutlich ab. Vor allem profitiert die Gemeinde Schönefeld von der Nähe zu Berlin und der damit einhergehenden vorteilhaften Lage für Transport- und Logistikunternehmen. Neben dem im Bau befindlichen Flughafen BER, befindet sich auch der Flughafen Berlin-Schönefeld auf dem Gemeindegebiet, welcher durch den BER ersetzt werde soll. Das daran angeschlossene Airport-Center ist neben dem Flughafen selber eine wichtige Einnahmequelle für die Gemeinde. Die Gemeinde Schönefeld ist als Wirtschaftsstandort durch die Nähe zu Berlin, die West-Ost-Achse (Rotterdam-Berlin-Warschau) und Nord-Süd-Achse (Skandinavien-Berlin-Südosteuropa), und die daraus resultierenden Standortvorteile in Bezug auf die Bereiche Logistik und Transport, gekennzeichnet (Gemeinde Schönefeld, 2017).
Die Idee, Stromproduktionsspitzen zu nutzen, um Wasserstoff zu produzieren (Power to Gas) und diesen gegebenenfalls zu speichern wird in der Wissenschaft seit mehreren Jahrzehnten diskutiert (zum Beispiel Veziroğlu, 1987; Momirlan, 2005; Ipsakis, 2009). Die Umsetzung dieser Idee und die Kombination dieser Energienutzung und -speicherung mit einer Tankstelle ist – bis heute – durchaus innovativ. Für die Industriepartner ist die Multi-Energie-Tankstelle daher eine sehr interessante Studie, da sich die Tankstelle aufgrund der Verknüpfung mit der Nutzung von Stromproduktionsspitzen von einer „normalen“ Wasserstofftankstelle abhebt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Reifegrad und Entwicklung der verwendeten Technologie: Der Druckelektrolyseur von McPhy existierte bis zum Bau der Tankstelle nur auf dem Papier. Die Realisierung verschiedener Technologien (zum Beispiel des Druckelektrolyseurs) bildete einen Teil der Motivation, an dem Projekt mitzuwirken.
- Nachfrage nach Speichertechnologien in Öffentlichkeit und Politik: Der Ausbau von regenerativen Energien und die Schwierigkeit die nötige Infrastruktur für Energiespeicherung in gleichem Maße auszubauen, erhöhte das Interesse und den Druck Stromproduktionsspitzen nutzbar zu machen.
- Nachfrage nach nachhaltiger Mobilität: Das Thema nachhaltige Mobilität ist von wachsender Bedeutung in der (Umwelt- und Verkehrs-)Politik – Bestrebungen für eine „Mobilitätswende“ forcieren Projekte wie das hier dargestellte. Auch ein wachsendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung sorgte für zusätzliches Interesse an nachhaltiger Mobilität.

- Die Nachfrage nach einer nachhaltigeren Mobilität wirkt sich kaum positiv auf die Verbreitung von Wasserstofftechnologie aus: Das Interesse an einer Mobilitätswende schlägt sich aufgrund der hohen Investitionskosten allerdings nicht in Form eines steigenden Absatzes von Wasserstoff-betriebenen Fahrzeugen wieder.
- Nachfrage nach Wasserstoff-betriebener Mobilität: Weitgehend hypothetisch, aber perspektivisch naheliegend – begründet mit einer wachsenden Anzahl von Wasserstoff-betriebenen PKWs und der Ankündigung der BVG Wasserstoff-betriebene Busse in die Flotte aufzunehmen.
- Bekanntheit und Kosten von Elektromobilität verringern Aufmerksamkeit für Wasserstoff: Für den Ausbau der Elektromobilität liegt generell eine größere Öffentlichkeit, Investitionsbereitschaft und demnach auch geringere Kosten für Nutzung von Elektromobilität vor. Da die Elektromobilität als weitere Option für eine nachhaltigere Mobilität in direkter Konkurrenz zur Wasserstoff-basierten Mobilität steht, wirkt sie der Ausbau der Elektromobilität negativ aud die Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur aus.
- Geplanter Flughafen BER steigert zukünftige Mobilitätsnachfrage: Der Flughafen steigert die Nachfrage nach Mobilität und Logistik sowohl während der Bauphase, als auch nach Fertigstellung, wobei der es der laufende Flughafenbetrieb ist, welcher die Tankstelle perspektivisch auslasten sollte. Neben dem zu erwartenden Individualverkehr, sind es auch Wasserstoff-betriebene Busse der BVG, welche zu der Auslastung führen sollten.
- Bestehende Kooperationen zwischen Industriepartnern: Der Großteil der Industriepartner (etwa TOTAL und Linde) kooperierte bereits im Rahmen anderer/ähnlicher Vorhaben. Aus diesem Grunde, kann zum einen dieser Teil der Industriepartner auf bestehende Kommunikationsinfrastrukturen zurückgreifen und profitiert zu anderen von bereits gemachten Erfahrungen.
- Marktwirtschaftliches Interesse der Industriepartner an einer Kooperation: In dem Projekt H2BER spielt die Gewinnabsicht keine, beziehungsweise eine untergeordnete Rolle, jedoch soll mit dem Projekt perspektivisch ein Marktvorteil aufgebaut werden.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- TOTAL entwickelte Leitidee: TOTAL als Marktakteur mit einem intrinsischen Interesse, die künftige Mobilität mitzugestalten, entwickelte die Leitidee für die Multi-Energie-Tankstelle mit Industriepartnern und öffentlichen Institutionen, mit welchen teilweise bereits zuvor zusammengearbeitet wurde.
- TOTAL bringt Industrie- und Forschungspartner zusammen: TOTAL hat im Rahmen der Leitideentwicklung verschiedene Akteure zusammengebracht und bestehende Netzwerke gestärkt sowie neue Netzwerke (etwa mit 2G) von Industrie- und Forschungspartnern gebildet.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Gewinnung von Förderung als Forschungsprojekt aus dem NIP und Planung der Tankstelle (Januar 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Da die Tankstelle markwirtschaftlich nicht gewinnbringend genug ist, um die Investitionskosten zu decken, bemühte sich das Konsortium um Fördergelder. Die Industriepartner bewarben sich in diesem Zusammenhang um Förderung durch das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) – welche das zentral Finanzierungsinstrument für den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland darstellt. Koordiniert wurden das NIP-Programm über die bundeseigene Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) GmbH, welche an das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) angegliedert ist.
Laut dem H2BER-Förderbescheid der NOW GmbH (NOW 2017a) war ein H2BER-Budget von 9.612.079 Mio. € vorgesehen. Knapp die Hälfte davon, 4.613.794 €, wurden schlussendlich durch eine Förderung des NIP abgedeckt, dessen Laufzeit vom 01.01.2013 bis zum 30.06.2016 verlief. Die NIP-Förderung stellte aufgrund ihres Umfangs und Dauer, eine Grundvoraussetzung für die Realisierung der Tankstelle dar (Brouté 2017, mündlich), das heißt erst mit diesem positiven Bescheid konnte die geplante H2BER-Tankstelle gebaut werden.

Die exakten Förderlaufzeiten variierten zwischen den Industriepartnern, entsprechend ihrer zeitlichen Handlung mit Bezug auf die Tankstelle:

- TOTAL (Tankstellenbetreiber) und LINDE (lieferte Technologie um Biogas und Wasserstoff abzufüllen, zu speichern): 01.01.2012 – 31.12.2016;
- 2G Energietechnik GmbH (lieferte und betreibt das BHKW): 01.05.2012 – 31.12.2016;
- McPhy Energy Deutschland GmbH (kaufte die Elektrolyse-Sparte von Enertrag): Nachtragsantrag, 01.01.2013 – 31.12.2016.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bereitstellung von NIP-Fördermitteln von der NOW GmbH: Die Förderung war unerlässlich für die Implementierung der Multi-Energie-Tankstelle.
- Vorhandenes Investitionskapital der Konsortiumspartner: Die Investitionen der Industriepartner waren ebenso unerlässlich für die Implementierung wie die Bereitstellung der Fördermittel.
- Ausbaustrategie der Wasserstoffinfrastruktur: Der bundespolitische Wille die Wasserstoff-Infrastruktur auszubauen, war eine (gegebene) Grundvoraussetzung für die Schaffung des NIP und damit auch für den Bau von H2BER.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Mobilisierung der NIP-Förderung im Januar 2012 durch die Industriepartner: Unter Leitung von TOTAL entwickelten die Industriepartner einen NIP-Förderantrag, welcher den Rahmenbedingungen einer Förderung entspricht.
- Festigung des Konsortiums durch TOTAL: Mit dem Ausscheiden von Enertrag und der Aufnahme von McPhy wurde die Zusammensetzung der Industriepartner verändert – diese blieb über den Entwicklungspfad bestehen (zusätzliche wurde zu einem späteren Zeitpunkt ein Forschungsinstitut aufgenommen – als evaluierender Partner, nicht als Industriepartner).

2.3 Entwicklungsmoment #3: Nichteröffnung des BER (Mai 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Die ursprünglich für den 3. Juni 2012 geplante Eröffnung des Flughafens BER wurde kurzfristig am 08.05.2012 abgesagt. Als neuer Eröffnungstermin wurde zunächst der 17. März 2013 angekündigt. Dass der Flughafen BER bis heute nicht eröffnet wurde, bedeutet gravierende Nachteile für den Standort der Tankstelle, da sie nicht in dem Maße frequentiert wird, wie dies bei einem planmäßigen Betrieb des Flughafens zu erwarten gewesen wäre – der Tagesspiegel-Artikel zur Grundsteinlegung im Dezember 2012 (Mortsiefer 2012) war mit „Tanken im Niemandsland“ überschrieben. Inzwischen stabilisierte sich die, zunächst eingebrochene, Nachfrage von Kunden an der Tankstelle.
Für die Kooperation der Industriepartner und Erprobung einiger technologischer Innovationen, etwa dem Wasserstoff-betriebenen BHKW, bedurfte es allerdings keiner großen Abnahme, welche durch die BER-Eröffnung gegeben wäre. Für den Betrieb der Tankstelle hingegen ist die Nichteröffnung des BER fatal – davon ist in erster Linie TOTAL als Tankstellenbetreiber betroffen. Allerdings bleibt auch zu sagen, dass die H2BER-Tankstelle, als Forschungsvorhaben nicht zwangsweise profitabel sein muss, beziehungsweise „sein darf“ (Kretschmer 2017, mündlich). Als Zuwendungsempfänger öffentlicher Fördergelder ist damit nicht die Prämisse möglichst viele Abnehmer für den produzierten Wasserstoff zu finden. Theoretisch könnte der produzierte Wasserstoff auch vor Ort, in dem BHKW verbraucht werden. Allerdings reicht hier die Wasserstoffproduktion nur für überwachte Testbetriebe in kleinerem Umfang. Größtenteils wird das BHKW mit Erdgas (mit einem Anteil von 10% Biogas) betrieben.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:
- Verzögerung des BER: Aufgrund massiver Fehlplanung verzögert sich der Bau des BER; dies benachteiligt den Standort der Tankstelle signifikant.
- Keine Ausgleichszahlungen für Nachteile aus der Nichteröffnung: Die BER-Nichteröffnung ist Teil des unternehmerischen Risikos, welches die Industriepartner in Kauf nahmen.
- Geringe Nachfrage an der Tankstelle: Zunächst eingebrochener, inzwischen stabilisierter Verkehr an der Tankstelle.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:
- Fehlende Möglichkeit der Einflussnahme auf Verzögerung der Eröffnung und fehlende Strategien, die Nachfrage nach Nutzung der Tankstelle zu erhöhen: Das Konsortium unternahm weder massive Öffentlichkeitsarbeit noch andere Handlungen von um die Nachfrage nach Nutzung der Tankstelle zu stärken – die Nicht-Eröffnung des BER ist ein „zu großes/unverrückbares“ Ereignis, um in irgendeiner Weise beeinflusst zu werden.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Offizielle Kooperationsvereinbarung zur Umsetzung der Tankstelle (Juni 2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Am 14.06.2012 unterzeichneten Enertrag AG (zunächst für den Windpark und Elektrolyseur zuständig) , Linde AG (Gas- und Gasinfrastruktur) und TOTAL Deutschland GmbH (Tankstellenbetreiber und H2BER-Leitung) in Potsdam ein „Memorandum of Understanding" (welches nicht eingesehen werden konnte) in Anwesenheit des brandenburgischen Ministerpräsidenten Matthias Platzeck. Das Memorandum of Understandung klärt die Verpflichtungen und Erwartungen der Industriepartner untereinander. 2G Energietechnik (Hersteller des BHKWs) und McPhy (übernahm zu einem späteren Zeitpunkt die Eletrolyseursparte von Enertrag) waren bei diesem Memorandum of Understanding nicht beteiligt. Nach dem Förderkataloges des Bundes war aber 2G Energietechnik bereits seit 01.05.2012 Partner im NIP-Verbundprojekt und McPhy ab 01.01.2013. Unabhängig von der möglichen Unterteilung in unterzeichnende und nicht unterzeichnende Partner, gab es jedoch kein starkes Machtgefälle zwischen ihnen und „die Stimmung im Konsortium war sehr gut" (Gehring 2017, mündlich; Brouté 2017, mündlich; Krezschmer 2017, mündlich).
Die symbolische Grundsteinlegung für die Tankstelle fand am 05.12.2012 durch den brandenburgischen Ministerpräsidenten Matthias Platzeck in Anwesenheit des TOTAL-Geschäftsführers Hans-Christian Gützkow und des ENERTRAG-Vorstands Werner Diwald statt (Schmidt 2012, Mortsiefer 2012).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Politische Unterstützung aus der Region: Die Anwesenheit des Ministerpräsidenten zollt von einer großen politischen Relevanz, damit einhergehende erhöhte Sichtbarkeit der geplanten Tankstelle. Dieser Befund kann durch die Anwesenheit der Staatssekretärin Reiche bei der Eröffnung in der H2BER-Tankstelle in eingeschränkterem Maße bestätigt werden.
- Anbindung der Tankstelle an landespolitische Strategien/Interessen: Durch Einbindung des brandenburgischen Ministerpräsidenten Matthias Platzeck wurde der politische Wille betont, H2BER in die landespolitische Strategien mitzudenken.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Durchführung verschiedenster Marketingmaßnahmen seitens des Projektkonsortiums: Es gab verschiedenste Pressemitteilungen und Öffentlichkeitsarbeit – vor allem von TOTAL, auch und insbesondere im Rahmen der Grundsteinlegung. Mit dieser Öffentlichkeitsarbeit wurde politische Sichtbarkeit, und in eingeschränktem Maße, auch Sichtbarkeit bei der allgemeinen Bevölkerung erzielt.
- Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung: Die Unterzeichnung des Memorandums of Understanding durch Enertrag, Linde AG und TOTAL legte eine klare Aufgabenverteilung fest.

- Anwesenheit des brandenburgischen Ministerpräsidenten Matthias Platzeck: Das Beisein von Platzeck verstärkt die Öffentlichkeitswirksamkeit von H2BER und betont die Rolle als landesweit auffallendes Leuchtturmprojekt.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Scheitern des geplanten Großwindparks und neue Partner (2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Die Planung der Tankstelle sah vor, dass die elektrische Energie für die Elektroladesäulen sowie die Herstellung des Wasserstoffs durch den 15 km nordöstlich des Flughafens gelegenen und von Enertrag geplanten Windpark Uckley mit 46 Windenergieanlagen gewonnen wird. Ein solcher Windpark würde eine Erweiterung des bestehenden Windeignungsgebietes erfordern (um das Vorhaben bei einer größeren Anzahl von Windkraftanlagen rentabel zu gestalten), welche von dem Enertrag-Vorstandsmitglied Lutz Diwald geplant wurde (Stadt Königs Wusterhausen 2011). Gegen dieses Vorhaben richtete sich jedoch der energische Protest von betroffenen Bürgerinnen und Bürger (Schulz und Wilke 2016). Getragen wurden diese Proteste maßgeblich durch die Bürgerinitiative BI Wernstorf. Schlussendlich scheiterte der Groß-Windpark von 47 Windkraftanlagen in Uckley aufgrund fehlender Rentabilität und lokaler Akzeptanz.
Stattdessen baute ABO Berlin einen kleineren Windpark von zehn Windrädern, welcher jedoch nach Inbetriebnahme im Oktober 2016 an die Beteiligungsgesellschaft Trianel Erneuerbare Energien GmbH & Co.KG (TEE) verkauft wurde (ABO Wind 2017, TEE 2016). Der daraus erzeugte Strom wird demnach in das allgemeine Netz eingespeist und wird nicht zur Herstellung von Wasserstoff bei der H2BER-Tankstelle eingesetzt. H2BER bezieht die nötige Elektrizität heute von dem externen Stromlieferanten Lichtblick. Obwohl damit eine regionale Wertschöpfung nicht gegeben ist, verringerte sich nicht die lokale Akzeptanz der Bürger. Sie maßen den Auswirkungen einen Windparks auf die Ästhetik der Landschaft und mögliche Umweltfolgen mehr Relevanz zu.
Heute bietet Lichtblick, als externer Stromlieferant die (regenerative) Energie an, die für die Wasserstoffproduktion an der Tankstelle nötig ist. Die Ergebnisse des Reiner-Lemoine-Instituts, welches in der Anfangsphase die Handlung und Betriebswirtlichkeit von H2BER untersuchte, lassen darauf schließen, dass der Strombezug von einem externen Stromlieferanten im Vergleich zu einem angeschlossenen Windpark, die Produktionskosten von Wasserstoff erhöhen. De facto bedeutete allerdings das Platzen des Windparks für die H2BER-Tankstelle keine signifikanten zusätzlichen Kosten (Brouté 2017, mündlich). Auch spielen die genauen Stromkosten bei Projekten wie H2BER eine untergeordnete Rolle, da der Fokus bei solchen mit öffentlichen Geldern geförderten Pionierprojekten nicht auf Gewinnmaximierung, sondern auf der Erprobung neuer Technologien liegt (Kretschmer 2017, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Unzureichende Rentabilität des Windparks: Die zunächst angenommenen Windstärken und die durch Enertrag geschätzte Rentabilität, stellten sich als zu optimistisch heraus. Dadurch war die Wirtschaftlichkeit des Großwindparks nicht gegeben.

- Gesellschaftliche Ablehnung des Windparks: Bürgerproteste gegen die von Enertrag geplante Großwindenergieanlage (Die Bürgerinitiative BI Wernstorf opponierte erfolgreich gegen Enertrags Plan eines Großwindparks).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Fehlkalkulierungen in der Entwicklung des Großwindparks durch Energtrag: Enertrag verkalkulierte sich und gab den Windpark auf. Da deren Elektrolyseur-Sparte von McPhy übernommen wurde, stieg Enertrag gänzlich aus H2BER aus.
- Organisation von Widerstand durch die Bürgerinitiative BI Wernstorf: Die BI Wernstorf formierte erfolgreich Wiederstand gegen den geplanten Windpark und trug damit dazu bei, dass er letztlich nicht gebaut wurde.
- Nach dem Scheitern des Windparks wurde von den Industriepartnern ein alternativer Stromlieferant identifiziert: Lichtblick liefert nun die ebenfalls mittels erneuerbarer Energien produzierte Energie für die Wasserstoffherstellung.

2.6 Entwicklungsmoment #6: Plan mehrerer BVG-Busse mit Wasserstoff zu betreiben entfällt (2014)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Der Wassersstoff sollte nicht nur von PKWs und Lastwagen getankt werden, sondern auch von Bussen der Berliner Verkehrsbetriebe (Öffentlicher Nahverkehr), die bereits in den Jahren davor ihre Flotte von Wasserstoff-betriebenen Bussen ausbaute (Presse- und Informationsamt des Landes Berlin, 2006). Die Verkehrsbetriebe Berlin, BVG, übernahmen im Juni 2006 die ersten beiden mit Wasserstoff angetriebenen Busse des Herstellers MAN für den Berliner Linienverkehr (Presse- und Informationsamt des Landes Berlin, 2006). Es waren die ersten von insgesamt 14 Fahrzeugen, die Berlin im Rahmen des EU-gefördeten Projektes HyFLEET:CUTE zum Standort der weltweit größten Flotte von Wasserstoffomnibussen machen sollten (Presse- und Informationsamt des Landes Berlin, 2006). Diese 14 Busse (1% der Busflotte) sollten bereits bis zum Sommer 2007 auf den Berliner Straßen unterwegs sein (Richter, 2006). Tatsächlich waren die 14 Busse zu diesem Zeitpunkt unterwegs – jedoch fielen diese häufig aus (Juweit, 2009). In diesem Zeitrahmen plante die BVG auch den Bustransfer zum BER auf Basis von Wasserstoff-betriebenen Bussen zu organisieren. H2BER wurde als Flughafen-nahe Schlüsseltankstelle für diese Busse konzipiert.

Schlussendlich war jedoch nicht nur die Nicht-Eröffnung des BER, sondern auch die Unzuverlässigkeit der Busse Grund für eine Absage an dieser Absicht. Im Frühjahr 2014 stellte die BVG den Betrieb der verbliebenen vier Wasserstoffbusse in Berlin endgültig ein. Damit einher ging auch die Schließung einer von TOTAL betriebenen Wasserstofftankstelle (an der Heerstraße in Berlin-Spandau) (Hzwei-Blog, 2014), was das Wasserstoff-Netzwerk in Berlin einschränkte und somit auch den Kaufanreiz für ein Wasserstoff-betriebenes Fahrzeug verringerte.

Für H2BER war der Wegfall der Wasserstoff-betriebenen Busse ein Dämpfer. Jedoch war dieser Rückschlag in seiner Auswirkung eher gering – im Vergleich mit den anderen Rückschlägen und

Herausforderungen, wie die Nichteröffnung des BER und die fehlende Zulassung für die Abgabe von Wasserstoff.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Fehlende Marktreife der Wasserstoff-betriebenen Busse: Marktreife der Wasserstoff-betriebenen Busse war nicht gegeben, sodass ein zuverlässiger Linienverkehr nicht gewährleistet werden konnte.
- EU-Fördergelder als Motor für eine Wasserstoff-betriebene Busflotte: EU-Fördergelder (insbesondere HyFLEET:CUTE) ermöglichten zunächst 2006/2007 die Realisierung von Wasserstoffinfrastruktur und dem Aufbau einer kleiner Wasserstoff-betriebenen Busflotte. Nach dem Ende der Finanzierung gab es jedoch weder Ersatz für die Förderung, noch war die Infrastruktur wirtschaftlich tragbar.
- EU-finanzierte Programme laufen aus, es werden keine neuen, ähnlichen Programme finanziert: EU-Fördergelder vereinfachten der BVG den Aufbau einer kleinen Flotte von Wasserstoff-betriebenen Bussen. Deren Auslaufen ohne Folgeförderung limitierte die Chancen eines Markteintrittes der kostenintensiven Wasserstofftechnologie.
- H2BER wird wichtiger, als die Aral-Wasserstoff-Tankstelle geschlossen wurde: Als die BVG ihre Pläne Wasserstoff zu nutzen zunächst auf Eis legte und dann gänzlich absagte, wurde zuerst die Multi-Energie-Tankstelle des Mitbewerbers Aral 2008 geschlossen (Juweit, 2009). Dies stärkte jedoch auch die Position von TOTAL in Berlin als wasserstoffanbietendes Tankstellennetzwerk (von welchem H2BER ein Teil ist).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Die Verkehrsbetriebe Berlin (BVG) sagen den Plan Wasserstoff-betriebene Busse einzusetzen ab: Mit dem Abbruch des Vorhabens die eigene Wasserstoffinfrastruktur auszubauen, bricht die BVG als Treiber des Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur in Berlin weg (Richter, 2006).
- Staatliche Institutionen stellen keine Gelder zur Förderung von Wasserstoff-Mobilität im ÖPNV bereit: Weder Institutionen der Länder Berlin oder Brandenburg, noch des Bundes fördern den Ausbau von Wasserstoff-betriebener Mobilität im öffentlichen Nahverkehr.

2.7 Entwicklungsmoment #7: Eröffnung der Tankstelle H2BER (Mai 2014)

Die Eröffnung der Tankstelle, die zunächst für Mitte 2013 geplant gewesen war, fand am 23.05.2014 im Beisein der Staatssekretärin im BMVI Katherina Reiche statt (TOTAL 2014). Die Verspätung wurde durch baubedingte Verzögerungen erklärt (Brouté, 2017, mündlich)
Trotz der Eröffnung: Die Multi-Energie-Tankstelle wird dem Ziel, aus Windkraft und Sonnenenergie Wasserstoff (H_2) herzustellen und eine systemübergreifende Vernetzung erneuerbarer Energie vom Strom-, Wärme- und Gasmarkt bis hin zum Verkehrssektor zu erlauben nicht gerecht. Zum einen ist der Windpark als Stromquelle entfallen, während die Sonnenenergie eher ergänzend für die Versorgung der Tankstelle selber genutzt wird. Weiterhin kann der, in kleinen Mengen produzierte, Wasserstoff aufgrund einer fehlenden Zulassung (des

Landesamtes für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit) nicht an der Tankstelle an Verbraucher abgegeben werden.
Realisiert wurde demnach eine „normale“ Tankstelle, an der fossile Kraftstoffe getankt werden können, sowie ein BHKW, welches größtenteils mit einem Erdgas-Biogas-Gemisch betrieben wird. Jedoch ist die Infrastruktur für eine größere Nutzung von Wasserstoff, wie der Elektrolyseur, der Speicher und die Zapfsäulen, vorhanden, sodass die Wasserstoffproduktion und -verwendung „hochgefahren“ werden könnte.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Politisches Momentum: Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur als politisches Ziel (unterstützt mit NIP via der NOW GmbH).
- Öffentliches Interesse an nachhaltiger Mobilität: Verschiedene Medien nahmen aufgrund des politischen Interesses die Pressemitteilungen zur Tankstelleneröffnung auf und produzierten Beiträge.
- Fehlende Zulassung des Landesamtes für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit, um Wasserstoff an der Tankstelle abzugeben: Der Betrieb von H2BER ist damit stark gehemmt, die Sichtbarkeit von Wasserstoff demnach eingeschränkt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

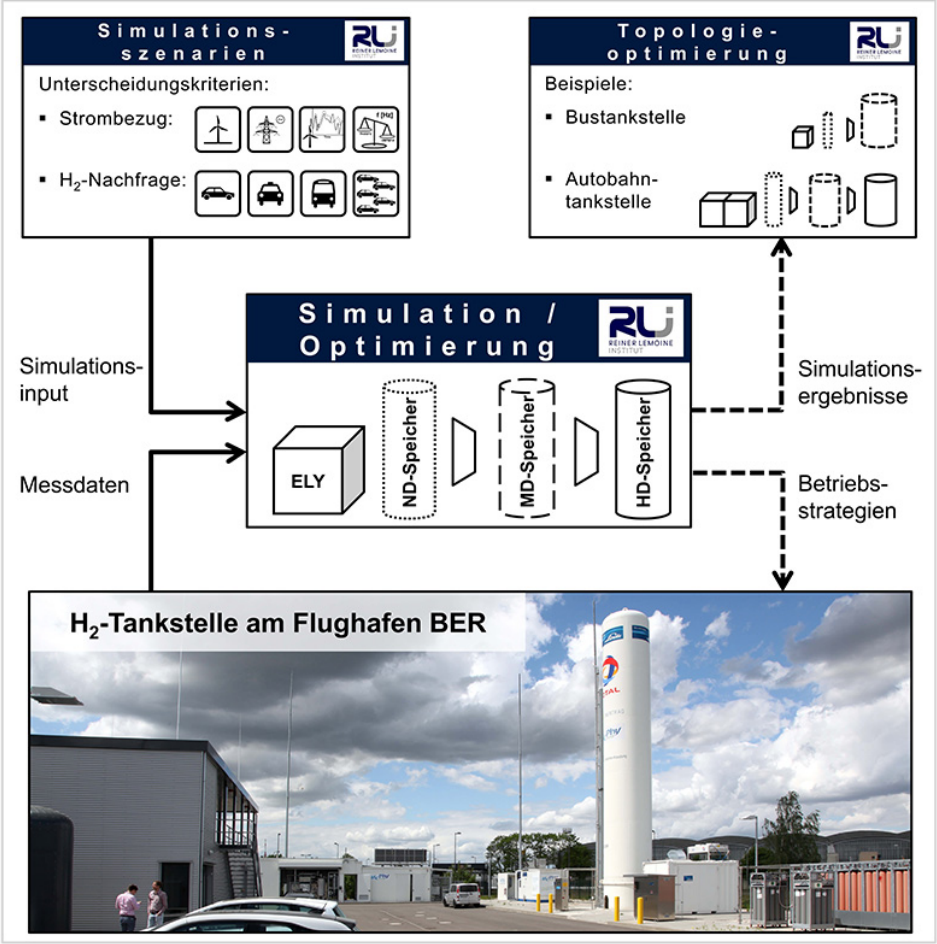
- Staatssekretärin im BMVI Katherina Reiche eröffnet die H2BER: Mit der Staatssekretärin des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur wird die bundesweite Bedeutung von H2BER als Leuchtturmprojekt betont.

2.8 Entwicklungsmoment #8: Start eines weiteren NIP-geförderten Projektes (Anfang 2015)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Die NIP-Förderung des H2BER, welche 48% der Kosten abdeckte, lief von Januar 2012 bis Dezember 2016. Im letzten Viertels dieses Zeitraums (01.01.2015 – 30.06.2016) wurde ein weiteres H2BER-bezogenes Projekt aus dem NIP gefördert: „Entwicklung, Erprobung und Bewertung intelligenter Betriebsstrategien für die verschiedenen Komponenten und die Gesamtsteuerung der Wasserstoff-Tankstelle am Flughafen Berlin Brandenburg“ (NOW 2017b). Durchgeführt wurde dieses weitere NIP-Projekt durch das Reiner-Lemoine-Institut. Das Budget belief sich auf 1.866.025 €; die Fördersumme umfasste 895.692 €.
In dem Unterprojekt wurde untersucht, wie sich die Wasserstoffkosten bei unterschiedlichen Stromquellen entwickeln. Auch wurden der Betrieb der H2BER-Anlagenteile – Elektrolyseur, Wasserstoffverdichter und -speicher sowie die Tankanlage optimiert.
Das Reiner-Lemoine Institut gGmbH nahm in diesem Projekt die Rolle eines externen Begutachters ein, der trotz dieser Rolle in dem Betrieb von H2BER voll integriert war und somit auch Zugriff auf alle Daten und Details hatte. Neben dem optimalen Betrieb der Anlagenkomponenten ging es dabei um die Untersuchung verschiedener Strombezugsmöglichkeiten (Erneuerbare Energien, Energie- und Regelenergiemärkte) und Verwertungspfade (Fahrzeugbetankung, Rückverstromung, Wärmeerzeugung, Belieferung von Industriekunden). Dazu wurde ein Simulationsmodell entwickelt (Abbildung 17), mit dem sich

Betriebsstrategien zur Steuerung aller relevanten Komponenten der Tankstelle (zum Beispiel Feststoffspeicher, Druckspeicher, Elektrolyseur) untersuchen und optimieren lassen. Die gefundenen Betriebsstrategien wurde anschließend am Standort BER erprobt, ausgewertet und für hilfreich befunden (Brouté 207, mündlich).
Festgestellt wurde, dass wenn der Ökostrom vom kurzfristigen Spotmarkt bezogen wird und die Wasserstoff-Anlage nicht optimal ausgelegt ist, sich die Kosten auf etwa 13 Euro pro Kilogramm Wasserstoff belaufen. Das ist den Forschern zufolge teurer, als Wasserstoff von einem externen Anbieter zu kaufen. Der beste Fall ergab sich in der Studie durch die direkte Anbindung der Tankstelle an einen Windpark mit Herstellungskosten von 10,36 Euro je Kilo Wasserstoff – wie es beim H2BER angedacht war. Die Projektergebnisse waren zum einen allgemein für den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland nützlich. Für H2BER wurden im Rahmen von diesem Forschungsprojekt einige Maßnahmen entwickelt, welches ein effizienteres Management der Tankstelle erlaubt.

Abbildung 17: Schematische Darstellung der Untersuchungen des Rainer-Lemoine-Instituts



Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Erfolgreicher Förderantrag durch das Reiner-Lemoine-Institut: Das Forschungsinstitut verfasste einen Antrag für die Förderung des Projektes „Entwicklung, Erprobung und Bewertung intelligenter Betriebsstrategien für die verschiedenen Komponenten und die Gesamtsteuerung der Wasserstoff-Tankstelle am Flughafen Berlin Brandenburg“ und reichte diesen bei der NOW GmbH ein.
- Projekt-relevantes Wissen durch Evaluation: Das Reiner-Lemoine-Institut konnte unter anderem anhand von H2BER Aussagen über die allgemeinen Bedingungen für eine Wirtschaftlichkeit von Wasserstoffproduktion treffen. Die Ergebnisse führen zu einem Erkenntnisgewinn und Wissenstransfer von H2BER-Erfahrungen: Erfahrungen die mit H2BER gemacht wurden fließen in die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Multi-Energie-Tankstellen im Allgemeinen ein. Insbesondere die Bedeutung der Herkunft und Kosten der Stromquelle wurde durch das Reiner-Lemoine-Institut herausgestellt.
- Bereitstellung von NIP-Fördergeldern durch NOW GmbH: Die NOW GmbH beurteilte das Projekt (Evaluierung der Wirtschaftlichkeit von H2BER) des Reiner-Lemoine-Instituts als förderungswürdig.
- Wechsel der Stromquelle erforderte Anpassungen im H2ER-Aufbau und zeigte die Notwendigkeit einer externen Evaluation: Die Industriepartner sahen die Sinnhaftigkeit einer externen Kostenevaluierung – nicht nur um den Betrieb von H2BER einschätzen zu können, sondern auch den ähnlicher Projekte.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Das Reiner-Lemoine-Institut generiert Projekt-relevantes Wissen im Rahmen einer Begutachtung für optimalen Betrieb der Wasserstofftankstelle.

2.9 Heutiger Stand

Beschreibung des heutigen Stands der Infrastrukturkopplung:

„Die Anlage auf dem BER läuft noch nicht im Vollbetrieb“, berichtet Käppner diplomatisch. Nur fünf Fahrzeuge pro Woche würden die grüne Tankstelle anfahren. Deshalb will das Wildauer Unternehmen mit dem Flughafenmanagement nach Lösungen suchen, wie das Schaufenster bis zur Eröffnung des BER besser genutzt werden kann“ (Schmidt 2015: 1). Inzwischen ist die Tankstelle durchaus gut frequentiert (Brouté 2017, mündlich). Da jedoch dort jedoch kein Wasserstoff getankt werden kann, ist nicht nur aufgrund dieses fehlenden Kraftstoffs, sondern auch aufgrund der fehlenden Emissionskompensation der Tankstelle (welche auf die Wasserstoffproduktion beruht) insgesamt die aktuelle Nachhaltigkeitswirkung der Tankstelle stark eingeschränkt.

Momentan gibt es keine Zahlungen aus dem NIP-Programm – zum einen weil die H2BER-Projektdauer endete, zum anderem weil das NIP-Programm insgesamt ausgelaufen ist. Es ist jedoch „wahrscheinlich, dass mit BER-Eröffnung und steigenden Nutzung der Wasserstoff-Tanksäulen, die Multi-Energie-Tankstelle auch von einer Neuauflage des Förderprogramms (NIP2) profitieren würde“ (Kretschmer 2017, mündlich). Inzwischen betreibt TOTAL 10 solcher Multi-Energie-Tankstellen, an denen Wasserstoff getankt werden kann. Demnach würde sich

H2BER in ein wachsendes Netz von Wasserstoff-Tankstellen einreihen, sobald die Genehmigung Wasserstoff abzugeben, vorhanden ist.
Unabhängig vom Vorhandensein weiterer Wasserstoff-Tankstellen ist jedoch die Frage offen in welchem Umfang sich, Wasserstoff-betriebene Fahrzeuge, in einer nicht-fossilen Zukunft der Mobilität eingliedern. Aktuelle Entwicklungen, wie der Preisverfall bei Batterien und neue Automobilreihen, lassen darauf schließen, dass die Elektromobilität den Massenmarkt erreichen wird. Wasserstoffbetrieb könnte für den Bereich der Mobilität interessant sein, für den Schienenverkehr zu unflexibel und Elektromobilität, aufgrund der vergleichsweise kurzen Distanz, zu impraktikabel ist.

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Aussicht auf weitere Förderung: Eine Förderung ist unerlässlich für die Weiterentwicklung von H2BER. Dementsprechend wäre eine etwaige Förderung von H2BER durch NIP2 wichtig für das volle Ausschöpfen des Potenzials von H2BER und um weitere Kenntnisse aus dem Betrieb der Multi-Energie-Tankstellen abzuleiten. Sollte die Genehmigung zur Abgabe von Wasserstoff gegeben sein, erscheint diese Förderung wahrscheinlich, so Brout 2017, mündlich
- Eingeschränkte Sichtbarkeit des Ausbaus des Wasserstofftankstellen: Für die Akzeptanz des Wasserstoffantriebs durch die Bevölkerung und Logistikunternehmen ist unter anderem ein sichtbarer Ausbau der Tankstelleninfrastruktur entscheidend.
- Kaum Anlässe für die Medien, um über das Projekt zu berichten: Nach der Grundsteinlegung und Eröffnung gab es kaum Anlässe, um über H2BER zu berichten. Aufgrund des gesunkenen Interesses der Medien, gibt es weniger Medienberichte über die Multi-Energie-Tankstelle und damit auch eine geringere Öffentlichkeitswirksamkeit der Tankstelle insgesamt.
- Fördernde und hemmende Politikmaßnahmen: Aktuelle gibt es sowohl Politikmaßnahmen, welche die Wasserstofftechnologie fördern (wie etwas das NIP-Programm), als auch solche, die die Wasserstofftechnologie hemmen (wie etwa die EEG-Umlage auf Strom für die Wasserstoffproduktion) beziehungsweise die konkurrierende Technologien (wie die Elektromobilität, oder fossile Mobilität (geringere Besteuerung von Diesel)) fördern
- Das bundesdeutsche Förderprogramm NIP lief aus: Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) lief. Es gibt wahrscheinlich ein Folgeprogramm, doch ist über den Umfang und die Verteilung der Gelder (insbesondere ob H2BER von einer weiteren Förderung profitieren wird) nichts Weiteres bekannt (Stand Juli 2017).
- Kostenentwicklung von fossilen Alternativen zu Wasserstoff: In einer, momentan kaum abschätzbaren, „Übergangszeit“ von fossiler zu nicht-fossiler Mobilität, ist die Kostenentwicklung von Filteranlagen für Fahrzeuge, welche fossile Treibstoffe tanken, entscheidend.
- Kostenentwicklung nicht-fossiler Alternativen zu Wasserstoff: Die Kostenentwicklung der Technologien, die mit der Wasserstofftechnologie in direkter Konkurrenz stehen,

insbesondere der Elektromobilität, ist bedeutend. In Bezug auf Elektromobilität umfasst das die Anzahl und Vielgestaltigkeit von Elektrofahrzeugen, als auch die Kosten von Elektroantrieb und der Batterien.

- Internationale Investitionsentscheidungen, sowohl öffentliche als auch private beeinträchtigen die Zukunftsaussichten der Wasserstoffmobilität: Internationale Entwicklungen, namentlich Politikmaßnahmen und Innovationen bezüglich des Ausbaus der Elektromobilität, beeinflussten den, sehr internationalen, Markt für Logistik und Transport stark. Diese Investitionen durch etwa staatliche Organe und Automobilhersteller in die Elektromobilität verkleinerten den Spielraum des Wasserstoffantriebs, da es unwahrscheinlich ist, dass zwei unterschiedliche Infrastrukturen und Fahrzeugflotten für postfossile Mobilität mit gleicher Intensität ausgebaut werden.
- Der niedrige Ölpreis wirkte einem starken Handlungsdruck postfossile Mobilität voran zu treiben entgegen: Der heute recht niedrige Ölpreis verringert den Druckt aus ökonomischen Kostengründen heraus die postfossile Mobilität voranzutreiben.

Der heutige Stand wird von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Die Industriepartner betreiben keinen Mehraufwand bezüglich der Öffentlichkeitsarbeit: H2BER wird weitestgehend als „normale“ Tankstelle betrieben, in der Wasserstoff höchstens im Testbetrieb produziert und hergestellt wird. Es gibt daher keine nennenswerten MarketingHandlungen um die Bekanntheit der Multi-Energie-Tankstelle zu steigern.
- Multinationale Automobilhersteller setzen in Bezug auf postfossile Mobilität vor allem auf den Elektroantrieb: Pioniere wie Tesla, aber auch die Mehrheit aller etablierten Automobilhersteller entwickeln in Bezug auf nicht-fossilen Antrieb, in erster Linie elektrisch betriebene Fahrzeuge.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt legt die Analyse der Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfades der Infrastrukturkopplung dar. Diese beinhalten die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während der Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind, und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Entwicklungspfad (3.1) und die Handlungen der unterschiedlichen Akteure, und wie diese mit den Einflussfaktoren umgegangen sind (3.2). Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken.

Tabelle 12: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Multi-Energie-Tankstelle H2BER

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Formulierung der Leitidee (2012)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Reifefgrad und Entwicklung der verwendeten Technologie: Elektrolyseur wurde noch nicht gebaut	*Unterstützend: Der Drang Zukunftstechnologien zu erproben wirkte motivierend.*	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierend):* TOTAL entwickelte Leitidee: TOTAL als Marktakteur mit einem intrinsischen Interesse, die künftige Mobilität mitzugestalten, entwickelte die Leitidee für die Multi-Energie-Tankstelle mit Industriepartnern und öffentlichen Institutionen, mit welchen teilweise bereits zuvor zusammengearbeitet wurde. *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierend):* Marktwirtschaftliches Interesse der Industriepartner an einer Kooperation: In dem Projekt H2BER spielt die Gewinnabsicht keine, beziehungsweise eine untergeordnete Rolle, jedoch soll mit dem Projekt perspektivisch ein Marktvorteil aufgebaut werden.
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Nachfrage nach Speichertechnologien in Öffentlichkeit und Politik: Ausbau von regenerativen Energien erhöht den Druck Stromproduktionsspitzen zu nutzen	*Unterstützend:* Die Nachfrage nach Speichertechnologien für regenerative Energien steigt mit deren Ausbau.	
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Nachfrage nach nachhaltiger Mobilität: Die Mobilitätswende wird von verschiedensten Akteuren der Umwelt- und Verkehrspolitik, aber auch der Bevölkerung (Umweltbewusstsein) angestrebt	*Unterstützend:* Wasserstofftechnologie, als Möglichkeit eine postfossile Mobilität aufzubauen, profitiert prinzipiell von der angestrebten Mobilitätswende.	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Die Nachfrage nach einer nachhaltigeren Mobilität wirkt sich kaum positiv auf die Verbreitung von Wasserstofftechnologie aus: Aufgrund der hohen Investitionskosten profitiert die Wasserstofftechnologie kaum von der Mobilitätswende	*Hemmend:* Die hohen Investitionskosten schränken die unterstützende Wirkung der Nachfrage nach einer nachhaltigeren Mobilität ein.	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Nachfrage nach Wasserstoff-betriebener Mobilität: Hypothetisch, aber naheliegend, vor allem begründet durch den BVG-Plan Wasserstoff-betriebene Busse einzustellen	*Unterstützend:* Es gab eine Aussicht auf eine steigende Wasserstoff-Nachfrage.	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Bekanntheit und Kosten von Elektromobilität verringern Aufmerksamkeit für Wasserstoff: Elektromobilität liegt generell eine größere Öffentlichkeit, Investitionsbereitschaft und demnach auch geringere Kosten für Nutzung von Elektromobilität vor	*Hemmend:* Die größere Bekanntheit und geringeren Kosten für E-Mobilität, als weitere Option für eine postfossile Mobilität, wirkend negativ.	*Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierend):* TOTAL bringt alte und neue Industrie- und Forschungspartner zusammen: TOTAL hat im Rahmen der Leitideentwicklung verschiedene Akteure zusammengebracht und bestehende Netzwerke gestärkt sowie neue Netzwerke (etwa mit 2G) von Industrie- und Forschungspartnern gebildet.
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Geplanter Flughafen BER steigert zukünftige Mobilitätsnachfrage: Nach Fertigstellung des Flughafens wird eine erhöhte Nachfrage nach Logistik-Dienstleistungen vor Ort erwartet	*Unterstützend:* Die erwartete Nachfrage nach Logistik-Dienstleistungen erhöhte die Motivation H2BER zu errichten.	
	Lokale institutionelle Faktoren: Bestehende Kooperationen zwischen Industriepartnern: Die Industriepartner arbeiteten teilweise bereits im Rahmen voriger Projekte zusammen	*Unterstützend:* Es bestanden bereits diverse Kommunikationskanäle zwischen den Partnern.	
#2: Gewinnung von Förderung als Forschungsprojekt aus dem NIP und Planung der Tankstelle (Januar 2012)	*Anreize und Regulierungen:* Bereitstellung von NIP-Fördermitteln von der NOW GmbH: Das Bundesprogramm NIP förderte H2BER	*Unterstützend:* Die Förderung war unerlässlich für die Implementierung der Multi-Energie-Tankstelle.	*Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Mobilisierung der NIP-Förderung im Januar 2012 durch die Industriepartner: Unter Leitung von TOTAL entwickelten die Industriepartner einen NIP-Förderantrag, welcher den Rahmenbedingungen einer Förderung entspricht.

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#3: Nichteröffnung des BER (Mai 2012)	*Lokale institutionelle Faktoren:* Vorhandenes Investitionskapital der Konsortiumspartner: Die Industriepartner setzen sich aus liquiden (Groß-)Unternehmen	*Unterstützend:* Die Investitionen der Industriepartner waren ebenso unerlässlich für die Implementierung wie die Bereitstellung der Fördermittel.	*Setzen von Rahmenbedingungen (Orchestrierend):* Bundespolitische Entscheidungsprozesse führte zu dem Ergebnis bis 2018 100 Wasserstofftankstellen zu errichten.
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Ausbaustrategie der Wasserstoffinfrastruktur: Der bundespolitische, politische Wille bis 2018 100 Wasserstofftankstellen zu errichten führte zu einer detaillieren Ausbaustrategie	*Unterstützend:* Der bundespolitische Wille die Wasserstoff-Infrastruktur auszubauen, war eine Grundvoraussetzung für die Schaffung des NIP und damit auch für den Bau von H2BER.	*Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierend):* Festigung des Konsortiums: Mit dem Ausscheiden von Enertrag und der Aufnahme von McPhy wurde die Zusammensetzung der Industriepartner verändert – diese blieb über den Entwicklungspfad bestehen (zusätzliche wurde zu einem späteren Zeitpunkt ein Forschungsinstitut aufgenommen – als evaluierender Partner, nicht als Industriepartner).
#4: Offizielle Kooperationsvereinbarung zur Umsetzung der Tankstelle (Juni 2012)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Verzögerung des BER: Der geplante Flughafen eröffnet voraussichtlich 2018 und damit schwer verzögert	*Hemmend:* Aufgrund massiver Fehlplanung verzögert sich der Bau des BER; dies benachteiligt den Standort der Tankstelle signifikant.	*Herausforderung für Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ):* Fehlende Möglichkeit der Einflussnahme auf Verzögerung der Eröffnung und fehlende Strategien, die Nachfrage nach Nutzung der Tankstelle zu erhöhen: Das Konsortium unternahm weder massive Öffentlichkeitsarbeit noch andere Handlungen von um die Nachfrage nach Nutzung der Tankstelle zu stärken – die Nicht-Eröffnung des BER ist ein „zu großes/unverrückbares“ Ereignis, um in irgendeiner Weise beeinflusst zu werden.
	Anreize und Regulierungen: Keine Ausgleichszahlungen o.ä.: Es gab keinerlei Ausgleichszahlungen für Unternehmen die auf die pünktliche Fertigstellung des Flughafens bauten	*Hemmend:* Die BER-Nichteröffnung ist Teil des unternehmerischen Risikos, welches die Industriepartner in Kauf nahmen.	
	Lokale institutionelle Faktoren: Politische Unterstützung aus der Region: Der Ministerpräsident des Bundeslandes Brandenburg wohnte der Grundsteinlegung bei	*Unterstützend*: Die Anwesenheit des Ministerpräsidenten zollt von einer großen politischen Relevanz.	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Stärken der Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ): Breitenwirksame Kommunikation der Industriepartner (vor allem TOTAL) der Tankstelle im Rahmen der Grundsteinlegung: Die Industriepartner (vor allem TOTAL) veröffentlichen mehrere Pressemitteilungen. Mit dieser Öffentlichkeitsarbeit wurde politische Sichtbarkeit, und in eingeschränktem Maße, auch Sichtbarkeit bei der allgemeinen Bevölkerung erzielt.
#5: Scheitern des geplanten Großwindparks und neue Partner (2012)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Unzureichende Rentabilität des Windparks: Der Kostenplan des Windparks erwies sich als zu optimistisch geplant	*Hemmend*: Die zunächst angenommenen Windstärken und die durch Enertrag geschätzte Rentabilität, stellten sich als zu optimistisch heraus. Dadurch war die Wirtschaftlichkeit des Großwindparks nicht gegeben	*Herausforderung für Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Fehlkalkulierungen in der Entwicklung des Großwindparks durch Energtrag: Enertrag verkalkulierte sich und gab den Windpark auf. Da deren Elektrolyseur-Sparte von McPhy übernommen wurde, stieg Enertrag gänzlich aus H2BER aus. *Herausforderung für Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ):* Fehlen von Handlungsstrategien, um mit den Bürgerprotesten umzugehen
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Gesellschaftliche Ablehnung des Windparks: Bürgerproteste gingen gegen den geplanten Windpark vor	*Hemmend*: Bürgerproteste gegen die von Enertrag geplante Großwindenergieanlage (Die Bürgerinitiative BI Wernstorf opponierte erfolgreich gegen Enertrags Plan eines Großwindparks).	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierend): Nach dem Scheitern des Windparks wurde von den Industriepartnern ein alternativer Stromlieferant identifiziert: Lichtblick liefert nun die ebenfalls mittels erneuerbarer Energien produzierte Energie für die Wasserstoffherstellung.
#6: Plan mehrerer BVG-Busse mit Wasserstoff zu betreiben entfällt (2014)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* H2BER wird wichtiger, als die Aral-Wasserstoff-Tankstelle geschlossen wurde	Unterstützend: Als die BVG ihre Pläne Wasserstoff zu nutzen zunächst auf Eis legte und dann gänzlich absagte, wurde zuerst die Multi-Energie-Tankstelle des Mitbewerbers Aral 2008 geschlossen (Juweit, 2009). Dies stärkte jedoch auch die Position von TOTAL in Berlin als wasserstoffanbietendes Tankstellennetzwerk (von welchem H2BER ein Teil ist).	*Herausforderung für Setzen von Rahmenbedingungen (Orchestrierend):* Fehlende Investitionen/Subventionen: Weder Institutionen der Länder Berlin oder Brandenburg, noch des Bundes fördern den Ausbau von Wasserstoff-betriebener Mobilität im öffentlichen Nahverkehr.
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Fehlende Marktreife der wasserstoffbetriebenen Busse: Die Wasserstoff-betriebenen Busse erwiesen sich als zu fehlerhaft für einen laufenden Betrieb	*Hemmend*: Marktreife der Wasserstoff-betriebenen Busse war nicht gegeben, sodass ein zuverlässiger Linienverkehr nicht gewährleistet werden konnte.	
#7: Eröffnung der Tankstelle H2BER (Mai 2014)	*Gesellschaftlicher Metafaktor:* Politisches Momentum: Die Staatssekretärin des BMVIs wohnte der Eröffnung bei	*Unterstützend:* Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur als politisches Ziel (unterstützt mit NIP via der NOW GmbH).	*Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Staatssekretärin im BMVI Katherina Reiche eröffnet die H2BER: Mit der Staatssekretärin des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur wird die bundesweite Bedeutung von H2BER als Leuchtturmprojekt betont.
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Öffentliches Interesse an nachhaltiger Mobilität: Diverse Medien nahmen die Eröffnung als Anlass um über H2BER zu berichten – auch weil ein öffentliches Interesse angenommen wurde	*Unterstützend*: Verschiedene Medien nahmen aufgrund des politischen Interesses die Pressemitteilungen zur Tankstelleneröffnung auf und produzierten Beiträge.	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Keine Zulassung des Landesamtes für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit, um Wasserstoff an der Tankstelle abzugeben: Das Amt erteilte bis dato (Juli 2017) keine Zulassung	*Hemmend*: Der Betrieb von H2BER ist damit stark gehemmt, die Sichtbarkeit von Wasserstoff demnach eingeschränkt.	
#8: Start eines weiteren NIP-geförderten Projektes (Anfang 2015)	*Anreize und Regulierungen:* Erfolgreicher Förderantrag durch das Reiner-Lemoine-Institut	*Unterstützend*: Das Forschungsinstitut verfasste einen Antrag für die Förderung des Projektes „Entwicklung, Erprobung und Bewertung intelligenter Betriebsstrategien für die verschiedenen Komponenten und die Gesamtsteuerung der Wasserstoff-Tankstelle am Flughafen Berlin Brandenburg“ und reichte diesen bei der NOW GmbH ein	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ):* Das Reiner-Lemoine-Institut generiert projektrelevantes Wissen im Rahmen einer Begutachtung für optimalen Betrieb der Wasserstofftankstelle.
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Wissensgenerierung durch das Reiner-Lemoine-Institut	*Unterstützend:* Erfahrungen die mit H2BER gemacht wurden fließen in die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Multi-Energie-Tankstellen im Allgemeinen ein. Insbesondere die Bedeutung der Herkunft und Kosten der Stromquelle wurde durch das Reiner-Lemoine-Institut herausgestellt. Die Ergebnisse des Reiner-Lemoine-Instituts erlauben es den H2BER-Industriepartnern den Betrieb der Anlage zu optimieren. Die Forschungserkenntnisse führen zu einem Erkenntnisgewinn	*Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ):* Der Wissens transfer durch das Forschungsprojekt erhöht die Sichtbarkeit von Wasserstofftechnologie im Allgemeinen und für H2BER im Speziellen – so könne auch andere Projekte neben H2BER selber von den Forschungserkenntnissen profitieren.

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Bereitstellung von NIP-Fördergeldern durch NOW GmbH: Das Reiner-Lemoine-Institut bekam die beantragen Forschungsgelder	*Unterstützend:* Die NOW GmbH beurteilte das Projekt (und damit auch die Optimierung von H2BER) des Reiner-Lemoine-Instituts als förderungswürdig.	
Heutiger Stand (2017)	*Anreize und Regulierungen:* Aussicht auf weitere Förderung: Von einer Neuauflage des NIP-Programms, könnte potentiell auch H2BER profitieren	*Unterstützend:* Eine Förderung ist unerlässlich für die Weiterentwicklung von H2BER. Dementsprechend wäre eine etwaige Förderung von H2BER durch NIP2 wichtig für das volle Ausschöpfen des Potenzials von H2BER und um weitere Kenntnisse aus dem Betrieb der Multi-Energie-Tankstellen abzuleiten. Dieses Folgeprogramm wird es vermutlich geben, doch ist über den Umfang und die Verteilung der Gelder (insbesondere ob H2BER von einer weiteren Förderung profitieren wird) nichts weiteres bekannt (Stand Juli 2017).	*Herausforderung für die Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ):* Die Industriepartner betreiben keinen Mehraufwand bezüglich der Öffentlichkeitsarbeit: H2BER wird weitestgehend als „normale“ Tankstelle betrieben, in der Wasserstoff höchstens im Testbetrieb produziert und hergestellt wird. Es gibt daher keine nennenswerten MarketingHandlungen um die Bekanntheit der Multi-Energie-Tankstelle zu steigern.
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Eingeschränkte Sichtbarkeit des Ausbaus des Wasserstofftankstellen: Obwohl die Ausbaustrategie (100 Tankstellen bis 2018) nach Plan voran geht, ist die Sichtbarkeit dieses Tankstellennetzes gegenüber der Öffentlichkeit nicht voll ausgeschöpft	*Hemmend:* Für die Akzeptanz des Wasserstoffantriebs durch die Bevölkerung und Logistikunternehmen ist unter anderem ein sichtbarer Ausbau der Tankstelleninfrastruktur entscheidend.	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Kaum Anlässe für die Medien, um über das Projekt zu berichten: Der laufende Betrieb einer Multi-Energie-Tankstelle bietet keinen tagesaktuellen Anlass, um über diesen Betrieb zu berichten	*Hemmend:* Nach der Grundsteinlegung und Eröffnung gab es kaum Anlässe, um über H2BER zu berichten. Aufgrund des gesunkenen Interesses der Medien, gibt es weniger Medienberichte über die Multi-Energie-Tankstelle und damit auch eine geringere Öffentlichkeitswirksamkeit der Tankstelle insgesamt.	
	Anreize und Regulierungen: Fördernde und hemmende Politikmaßnahmen: Derzeit gibt es sowohl Politikmaßnahmen, welche die Etablierung der Wasserstofftechnologie fördern, als auch solche die diesen behindern	*Unterstützend:* Aktuell gibt es Politikmaßnahmen, welche die Wasserstofftechnologie fördern (wie etwas das NIP-Programm). *Hemmend:* Gleichzeitig beeinträchtigen andere die Etablierung der Wasserstofftechnologie (wie etwa die EEG-Umlage auf Strom für die Wasserstoffproduktion) beziehungsweise die Förderung von konkurrierenden Technologien (wie die Elektromobilität, oder fossile Mobilität.	
	Anreize und Regulierungen: Das bundesdeutsche Förderprogramm NIP lief aus: Damit entfiel für die Industriepartner jegliche öffentliche Finanzierung für die Weiterentwicklung von H2BER	*Hemmend:* Das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) lief aus. Das Förderprogramm finanzierte die Entwicklung, Umsetzung, aber auch Weiterentwicklung von H2BER.	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Kostenentwicklung von fossilen Alternativen zu Wasserstoff: In der Übergangsphase von fossiler zu postfossiler Mobilität spielt die Kostenentwicklung der fossilen Antriebssysteme für die Etablierung der Wasserstofftechnologie eine wichtige Rolle	*Hemmend*: In einer, momentan kaum abschätzbaren, „Übergangszeit“ von fossiler zu nicht-fossiler Mobilität, ist die Kostenentwicklung von Filteranlagen für Fahrzeuge, welche fossile Treibstoffe tanken, entscheidend. Bereits bestehende Diesel-Fördermechanismen beeinträchtigen die Marktstellung der Wasserstofftechnologie.	
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Kostenentwicklung nichtfossiler Alternativen zu Wasserstoff: Da unter anderem ökonomische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle bei der Wahl des postfossilen Antriebs spielen, ist die Kostenentwicklung nichtfossiler Alternativen zu Wasserstoff entscheidend	*Hemmend:* Die Kostenentwicklung der Technologien, die mit der Wasserstofftechnologie in direkter Konkurrenz stehen, insbesondere der Elektromobilität, ist bedeutend. In Bezug auf Elektromobilität umfasst das die Anzahl und Vielgestaltigkeit von Elektrofahrzeugen, als auch die Kosten von Elektroantrieb und der Batterien.	
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Internationale Investitionsentscheidungen, sowohl öffentliche als auch private beeinträchtigen die Zukunftsaussichten der Wasserstoffmobilität: Nationale Unterstützung einer Antriebstechnologie ist begrenzt wirksam und wird unter anderem durch die Investitionen anderer Staaten, aber auch von Unternehmen, konterkariert oder unterstützt	*Hemmend:* Internationale Entwicklungen, namentlich Politikmaßnahmen und Innovationen bezüglich des Ausbaus der Elektromobilität, beeinflussten den, sehr internationalen, Markt für Logistik und Transport stark. Diese Investitionen durch etwa staatliche Organe und Automobilhersteller in die Elektromobilität verkleinerten den Spielraum des Wasserstoffantriebs, da es unwahrscheinlich ist, dass zwei unterschiedliche Infrastrukturen und Fahrzeugflotten für postfossile Mobilität mit gleicher Intensität ausgebaut werden.	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Gesellschaftlicher Metafaktor: Der Ölpreis bewirkte einem schwankenden Handlungsdruck postfossile Mobilität voran zu treiben: Der niedrige Ölpreis führt unter anderem zu einer marktwirtschaftlich starken Positionierung ölbasierter Mobilität	*Hemmend:* Der heute recht niedrige Ölpreis verringert den Druckt aus ökonomischen Kostengründen heraus die postfossile Mobilität voranzutreiben.	*Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Bisher werden von den Stadtwerken keine Möglichkeiten zur Gewinnung von finanzieller Unterstützung von (vorhandenen) EU-, Bundes- oder Landesfördermitteln gesehen

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

1. Aspekte der technischen Entwicklungen (und deren zeitlicher Rahmen) wirken sich unterstützend und hemmend im Verlauf des Entwicklungspfades aus.

Prinzipiell sorgte der Umstand, dass sich ein großer Teil der Schlüsseltechnologien für H2BER in der Pilotphase befand, für eine hohe Motivation der Industriepartner diese Technologien zu testen, vor allem in der Planungs- und Anfangsphase von H2BER (so wurde etwa der Elektrolyseur zum ersten Mal errichtet). Gleichzeitig sorgte der geringe Reifegrad für andauernden Anpassungsbedarf und signifikante Kosten. Diese Kostenintensität der Technologie war neben derer Unzuverlässigkeit ein wichtiger Grund für die BVG keine Wasserstoff-betriebenen Busse in Betrieb zu nehmen. Bei dem nicht errichteten Windpark waren es neben den Bürgerprotesten vor allem die fehlende Rentabilität (EM #5), die zur einer Absage des Windparkprojektes führten. Eine weitere technische Entwicklung stellt die Verzögerung des BER-Flughafens dar. Die entsprechenden Auswirkungen (geringere Nachfrage nach Tankstoffen etc.) wirken sich hemmend auf den Entwicklungspfad aus.

2. Anreize (insbesondere die NIP-Förderung) und Regulierungen wirken sich im Entwicklungspfad eher unterstützend auf die Schaffung einer finanziellen Basis, aber auch hemmend aus – beispielsweise gibt es bisherkeine Zulassung Wasserstoff abzugeben.

Auf der einen Seite erlaubten die NIP-Fördermittel die Errichtung von H2BER und die Durchführung des späteren Forschungsprojektes, welches vom Reiner-Lemoine-Institut durchgeführt wurde (EM #8). Gleichzeitig wirkte sich die weiterhin bestehende Abhängigkeit von den Fördermitteln negativ auf den Entwicklungspfad aus, da mit dem Ende der Förderdauer nicht alle Herausforderungen überwunden werden konnten und eine Folgefinanzierung nicht sicher ist – mit Auslaufen der NIP-Förderung herrscht nun Unklarheit über Fördermöglichkeiten für ein Folgeprojekt und ob H2BER davon profitieren könnte. Weiterhin gab es keine Ausgleichszahlungen für Unternehmen (wie zum Beispiel Total), welche auf die pünktliche Fertigstellung des Flughafens bauten und entsprechende Investitionen getätigt hatten. Desweiteren liegt bis dato keine Zulassung des Landesamtes für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit vor, um Wasserstoff an der Tankstelle abzugeben.

3. Lokalen institutionellen Strukturen kommen im Rahmen des Entwicklungspfades vor allem unterstützende (etwa bestehende Kommunikationskanäle zwischen den Industriepartnern) und seltener hemmende Wirkungen.

Die H2BER-Kommunikation zwischen den Industriepartnern wurde dadurch vereinfacht, dass durch bereits abgeschlossene Projekte diverse Kommunikationskanäle bereits bestanden. Dieser Umstand vereinfacht die Kommunikation und trug zum Gelingen von H2BER bei. Auch das vorhandene Investitionskapital der Partner war ein Grund für die Entwicklung von H2BER – da die NIP-Förderung nur etwa die Hälfte der nötigen Investitionskosten abdeckte. Dieses Pooling gemeinsamer Ressourcen durch die Industriepartner umfasst nicht nur

Investitionskapital, sondern auch Erfahrungen. Der Erfahrungsaustausch und die finanziellen Mittel unterstützten den Bau von H2BER, beziehungsweise waren eine Bedingung für H2BER. Unterstützend war weiterhin die Anwesenheit des Ministerpräsidenten bei der Grundsteinlegung, der sich so zur Einbindung von H2BER in landespolitische Strategien bekannte und die Öffentlichkeit für H2BER erhöhte.

4. Mit Blick auf sozio-kulturelle Faktoren treten hemmende Wirkungen (zum Beispiel die fehlende Nachfrage nach Wasserstoff, die fehlende Akzeptanz des Windparks durch die lokale Bevölkerung) und unterstützende auf.

Zum Zeitpunkt der Planungen von H2BER konnte von einer steigenden Nachfrage nach Wasserstoff ausgegangen werden – insbesondere am Standort der Multi-Energie-Tankstelle. Zum einen gab es eine gestiegene Nachfrage nach postfossiler Mobilität im Allgemeinen und von Wasserstoff im Speziellen – etwa durch den Plan der BVG Wasserstoff-betriebene Busse einzusetzen. Weiterhin ließ der sich im Bau befindliche Flughafen BER auf eine wachsende Nachfrage nach Dienstleistungen der Logistik- und Mobilitätsbranche schließen. Als diese erwartete Nachfrage wegfiel, mussten Anpassungen durchgeführt werden. Da die Multi-Energie-Tankstelle von vornherein auch fossile Kraftstoffe, sowie Ladesäulen für elektrisch betriebene Fahrzeuge, anbieten sollte, war keine weitere Produktanpassung möglich/nötig. Lediglich der Umfang des produzierten Wasserstoffs wurde angepasst, beziehungsweise reduziert. Aufgrund der Bürgerproteste (EM #5) gegen den Windpark und die unter anderen daraus resultierenden Nichterrichtung der Windräder machten ebenfalls eine Anpassung von H2BER notwendig. Ermittelt wurde im Folgenden ein Stromlieferant, welche den Ansprüchen (regenerative Energie) der Industriepartner gerecht wurde. Weiterhin gab es mit Fertigstellung und Eröffnung von H2BER keine weiteren Anlässe für Medien, um über die Tankstelle zu berichten, womit die entsprechenden Wirkungen auf die Bekanntheit der Tankstelle entfielen. Hier waren kaum Reaktionsmöglichkeiten vorhanden, die Öffentlichkeitsarbeit wurde nicht mit Druck verstärkt.

5. Als letzte Kategorie von Einflussfaktoren entfalten gesellschaftliche Metafaktoren unterstützende, aber auch hemmende Wirkungen im Entwicklungspfad.

Hemmende Metafaktoren gehen oftmals auf die geringe gesellschaftliche Nachfrage nach der vergleichsweisen Wasserstofftechnologie zurück. Das allgemeine politische und gesellschaftliche Interesse verschob sich eher in Richtung anderer Technologien, vor allem der Elektromobilität (Heutiger Stand). Auch deshalb ist die Wasserstofftechnologie vergleichsweise weniger prominent in den Medien vertreten. Dieser Unterschied in der Wahrnehmung als Zukunftstechnologie, führte unter anderem dazu, dass Elektromobilität thematisch eher auf der Agenda von Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft, sowie der Öffentlichkeit, als Wasserstofftechnologie zu finden ist. Die Investitionsbereitschaft von Wirtschaft und Politik ist bei der Elektromobilität weitaus höher als bei der Wasserstofftechnologie. Demnach sind auch die Preise in der Elektromobilität vergleichsweise geringer und das Angebot ist größer. Auch Investitionen in die Weiterentwicklung und Optimierung von fossilen Antriebssystemen (zum

Beispiel Filter) schwächen die Marktposition von Wasserstoff, wie die Investitionen in E-Mobilität. Die bei H2BER beteiligten Akteure sind dabei zudem mit einem sehr vernetzten und internationalen Geschäftsfeld konfrontiert. Logistik und Transport sind nicht nur international hoch vernetzt, in dem Sektor werden Investitionsentscheidungen international getroffen – diese können eigenen Investitionen widersprechen. Damit bestehen vielfältige Anreize, welche Nicht-Wasserstoff-basierte Antriebssysteme und die entsprechenden Infrastrukturen fördern und damit den Raum für die Wasserstofftechnologie einschränken.
Bis 2018 sollen, nach dem Industrieausbauplan „H2 Mobility Initiative“ 100 Wasserstofftankstellen gebaut sein und somit die Grundlage für die Markteinführung umweltfreundlicher Elektrofahrzeuge mit Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb geschaffen werden. Grund dafür sind unter anderen internationalen Bemühungen eine postfossile Mobilität aufzubauen. Der niedrige Ölpreis wirkt dabei nur mittelfristig hemmend.
Da für die H2BER-Tankstelle keine Produktionsspitzen eines Windparks, sondern konventioneller, regenerative Netzstrom genutzt wird, ist auch der Strompreis ein relevanter Meta-Einflussfaktor, dessen Trend das Vorhaben beeinflusst – in diesem Fall hemmend. Neben dem Strompreis sind auch der Wasserstoffpreis und die Preise konventioneller Energieträger entscheidend für die Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff. Laut dem Clean Energy Partnership kann Wasserstoff als Fahrzeugantrieb bei einem Preis von etwa 9,50 Euro je Kilo mit den Preisen fossiler Kraftstoffe mithalten (CFP, 2016). Dieses günstige Preisniveau ist bei H2BER nicht gegeben. Auch das (frühe) Stadium der bei H2BER verbauten Technologie und die damit einhergehenden, hohen Investitionskosten beeinflussten das Vorhaben in dessen Wahrnehmung (als teure Zukunftstechnologie) negativ.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

In diesem Abschnitt fokussieren wir uns auf die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung bestimmt haben. Dies ermöglicht es herauszustellen, wie Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind, um die Kopplung voranzutreiben. Es zeigt außerdem bestehende Herausforderungen auf. Wir analysieren insbesondere die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen, die innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren.
Tabelle 11 gibt eine Übersicht über die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen der Akteure innerhalb der Entwicklungsmomente und in Bezug auf die Einflussfaktoren.
Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die an dem Entwicklungspfad beteiligten Akteure und deren Rollen. Die zentralen Akteure waren die Industriepartner TOTAL, Linde, 2G, Enertrag, McPhy und das Forschungsinstitut Reiner-Lemoine-Institut. Die Federführung oblag und obliegt TOTAL als Betreiber der Tankstelle. 2G stellte das Blockheizkraftwerk bereit, Linde die Gasspeicherinfrastruktur, Enertrag plante den Windpark und sollte den Elektrolyseur liefern – welcher letztendlich von McPhy nach Aufkauf der entsprechenden Enertrag-Sparte zu H2BER beitrug. Das Reiner-Lemoine-Institut untersuchte die Markteintrittschancen von H2BER und schloss von diesen Ergebnissen auch auf allgemeine Markteintrittsbedingungen für die Wasserstofftechnologie als Kraftstoff. Entscheidende Rollen kamen auch dem Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit und der NOW GmbH zuteil.

Tabelle 13: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad von H2BER

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
TOTAL	Multi-level (regional bis europäisch)	Markt	Initiierung, Forschung & Entwicklung, Planung, Bauherrschaft, Finanzierung, Infrastruktur, Forschungsgeldakquise, Verwaltung, Leitung, Betrieb, Instandhaltung
Linde	National	Markt	Bereitsteller von Wasserstoff-/Gasinfrastruktur, Industriepartner
2G	National	Markt	Bereitsteller der BHKW-Technologie, Industriepartner
Enertrag	National	Markt	Geplant als Eigentümer des Windparks und Elektrolyseurs
McPhy	National	Markt	Eigentümer des Elektrolyseurs
Reiner-Lemoine-Institut	National	Markt-Forschung	Unterstützte die Erforschung der Pioniertechnologien und optimierte die Anlage H2BER
NOW GmbH	National	Öffentliche Hand (Bundesebene – im Auftrag)	Förderte H2BER im Rahmen des NIP-Förderprogramms
Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit	Regional	Öffentliche Hand (Landesebene)	Regulierung – Wasserstoffabgabe, Arbeitssicherheit

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen der genannten Akteure zeigen sich vor allem in den drei Kategorien *Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung*, und *Anbindung der Innovation an den Kontext – weniger in der Stärkung der Sichtbarkeit*.
Demnach wurde viel Pionierarbeit geleistet (Nischenbildung), während sich die Anbindung der Tankstelle an die regionale Infrastruktur und politische Agenda schwieriger war – aber auch hier ließen sich Erfolge feststellen. Die Sichtbarkeit von H2BER hingegen ist kaum gegeben.

Handlungen zur *Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung* waren in dem H2BER-Entwicklungspfad vorherrschend, da mit H2BER verschiedene Technologien von der Entwicklungsphase in eine Anwendung überführt wurden – teilweise erstmalig, teilweise im größeren Maßstab. Zu nennen wären etwa die Visionsentwicklung und Koordinierung der Implementierung von H2BER, inklusive der Mobilisierung der NIP-Förderung im Januar 2012. Andere Handlungen stellen hingegen Herausforderungen für diese Handlungen dar, wie beispielsweise die Fehlkalkulierungen des Großwindparks durch Enertrag oder auch die fehlenden Handlungsspielräume, um auf die Nicht-Eröffnung des Flughafens oder die größere Wertschätzung für beziehungsweise Förderung von E-Mobilität durch andere Akteure zu reagieren.
Handlungen, welche die Innovation an den Kontext anbinden sind etwa die Anwesenheit des brandenburgischen Ministerpräsidenten (EM #4), welche die Einbindung von H2BER in landespolitische Strategien betont sowie die Wissensgenerierung durch das Reiner-Lemoine-Instituts, von welcher ähnliche Projekte profitieren. Eine wesentliche Herausforderung für diese Kontextanbindung war die Planänderung der BVG, doch keine Wasserstoff-betriebene Busse einzusetzen. Somit entfiel die Einbindung von H2BER in die lokale Infrastruktur des öffentlichen Nahverkehrs. Auch die Proteste der Bürgerinitiative Biesdorf stellten eine Herausforderung für die Anbindung dar, da unter anderem wegen dieser Proteste der geplante Windpark nicht errichtet wurde. Die Einbindung von H2BER in die lokale Erzeugung von regenerativer Energie fand damit nicht statt.
Die *Stärkung der Sichtbarkeit* der Multi-Funktions-Tankstelle wurde durch eine breitenwirksame Kommunikation der Industriepartner (vor allem TOTAL) und die Anwesenheit der Staatsekretärin des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur bei der Eröffnung unterstützt. Limitiert wird die Sichtbarkeit dadurch, dass die Industriepartner nach der Nichteröffnung des Flughafens keinen Mehraufwand bezüglich der Öffentlichkeitsarbeit betrieben haben. Somit war die Sichtbarkeit von H2BER auf die anlassbezogene Berichterstattung beschränkt – etwa der Grundsteinlegung und Eröffnung der Multi-Energie-Tankstelle. Pressemitteilungen der Industriepartner, vor allem von TOTAL, ermöglichten eine effiziente Öffentlichkeitsarbeit im Vorfeld dieser Anlässe. Nach Eröffnung entfielen diese Anlässe und die Öffentlichkeitsarbeit wurde von den Industriepartnern deutlich reduziert.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Die Orchestrierungs-Handlungen der verschiedenen Akteure lassen sich relativ gleichverteilt den drei Kategorien *Strategische Richtungssetzung*, *Setzen von Rahmenbedingungen* und *Skalen- und ressortübergreifende Mediation* zuordnen.
Dementsprechend ist H2BER durch strategisches Planung und Kooperation der Industriepartner geplant. Diese Handlungen spiegelt unter anderem deren Wunsch durch das Pilotprojekt H2BER wider eine vorteilhafte Marktposition im Feld Wasserstoffproduktion, -nutzung und -verkauf zu erlangen. Rahmensetzungen wurden vor allem durch politische Akteure durchgeführt. Der *Strategischen Richtungssetzung* zuzuordnen ist beispielsweise die Leitideenentwicklung durch TOTAL, da auf Grundlage dieser, die Industriepartner ihre Investitionen koordinierten und Aktivtäten abstimmten. Auch das marktwirtschaftliche Interesse der Industriepartner bestimmte

diese Orchestrierungs-Handlung maßgeblich. Zwar spielte der Profit für H2BER eine nur untergeordnete Rolle (auch weil H2BER mit öffentlichen Geldern gefördert wurde), doch insgesamt sollten die H2BER-Erfahrungen für den Ausbau der Markstellung der Industriepartner in der postfossilen Mobilität stärken. Die beteiligten Industriepartner TOTAL, Enertrag, McPhy, Linde und 2G stimmten ihre Handlungen erfolgreich und effektiv ab, um H2BER zu realisieren (dabei halfen bereits aus vorherigen Projekten existierende Kommunikationskanäle) – die Schirmherrschaft oblag dabei durchgängig TOTAL.
Die Identifikation eines alternativen Stromlieferants (EM #5), nachdem der Windpark nicht errichtet werden konnte, sowie die Netzwerkbildung und die Festigung des Konsortiums durch TOTAL können der Kategorie *Skalen- und ressortübergreifende Mediation* zugeordnet werden, da diese Handlungen Partner-interne Absprachen bedurft haben. Gleichzeitig zeigen diese Handlungen eine hohe Resilienz der Industriepartner. Diese Handlungen gehen insbesondere auf lokale institutionelle Faktoren zurück, wie etwa Kooperationen der Industriepartner die sich bereits vor H2ER bildeten. Auch die individuellen Netzwerke und starke Marktpositionierung der einzelnen Industriepartner erlaubte die Flexibilität in der Zusammensetzung des Konsortiums und die Festigung dessen.
Der bundespolitische Plan bis 2018 100 Wasserstofftankstellen zu errichten ist dem *Setzen von Rahmenbedingungen* zuzuordnen, während fehlende Investitionen/Subventionen (EM #6) eine Herausforderung diesbezüglich darstellt. Zwar bot derAusbauplan der Wasserstoffinfrastruktur die notwendige Motivation, um das Förderprogramm NIP aufzusetzen. Gleichzeitig förderten weder Institutionen der Länder Berlin oder Brandenburg, noch des Bundes etwa den Ausbau von Wasserstoff-betriebener Mobilität im öffentlichen Nahverkehr. Die Eigenmittel der Industriepartner hätten aus ökonomischen Gesichtspunkten nicht gereicht, um H2BER zu errichten.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Multi-Energie-Tankstelle H2BERServerabwärmeanlage wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.

(1) Leistungsfähigkeit der Kopplung

H2BER kann Strom, Wasserstoff und Wärme auf Basis regenerativer Energieerzeugung bereitstellen. Die Hauptmotivation H2BER zu errichten lag dabei auf der Verfügbarmachung und Etablierung von Wasserstoff als Treibstoff. Die ursprüngliche Leitidee wurde jedoch mehrfach angepasst – Wasserstoff kann nicht als Treibstoff zur Verfügung gestellt werden und es gibt keine Herstellung von Wasserstoff über den geplanten Windpark und keine Vermarktung von Wasserstoff an Berliner wasserstoffbetriebene Busse. Diese Einschränkungen limitieren die Funktionalität von H2BER.

(2) Soziale und ökonomische Verträglichkeit

Die ökonomische Perspektive von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen oder Wasserstoffnutzung als Energiespeicher ist kostenintensiv. Die Nutzung von Wasserstoff als Treibstoff bedarf der Umrüstung auf Autos mit der Technologie; trotz des Vorteils gegenüber Elektromobilität, dass größere Reichweiten möglich sind, ist die nutzerseitige Nachfrage gering. Auch der Strompreis beziehungsweise die fehlende Subventionierung (Befreiung von der EEG-Umlage etwa) bei der Produktion von Wasserstoff, beeinflusst die Wirtschaftlichkeit von H2BER stark. Weiterhin ist der Vorteil der Nutzung von Wasserstoff gegenüber der Elektromobilität, dass größere Reichweiten möglich sind, für manche anvisierte Nutzer, wie die Berliner Verkehrsbetriebe, nicht entscheidend. Der Markt wurde hier falsch eingeschätzt. Als positiv einzuschätzen hingegen ist dafür der modulare Aufbau der Anlage, welche eine Anpassung der Produktionskapazitäten erlaubt. Das Nachhaltigkeitspotential von H2BER wäre mit einem angeschlossenen Windpark aufgrund der regenerativ erzeugten Energie für die Wasserstoffproduktion größer. Jedoch fehlte lokal in der Gemeinde Schöneberg Akzeptanz für den Bau der nötigen Windräder Die Bürgerinitiative sah diesbezüglich also nur eine sehr geringe soziale Verträglichkeit. Dies betrifft jedoch nicht H2BER als Multi-Energie-Tankstelle und sagt wenig über den Querschnitt der Meinungen der lokalen Bevölkerung. Dementsprechend ist eine technische Verträglichkeit weitestgehend gegeben, die soziale Verträglichkeit ist eingeschränkt, während die ökonomische Verträglichkeit kaum gegeben ist.

(3) Ressourcenschonung und –effizienz

Die geplante Nutzung von Produktionsspitzen von Windparks und Energiespeicherung wäre ein signifikanter Beitrag zu Ressourcenschonung und -effizienz. Ohne Windpark bleibt der Beitrag zu Klimaschutz durch eine verbesserte Nutzung von Erneuerbaren Energien und Förderung von CO_2-armer Mobilität (Elektro- und Wasserstoffantriebe). Diese Beiträge sind allerdings sehr begrenzt durch die begrenzte Verfügbarmachung und Nutzung von Wasserstoff. Mit Blick auf die Entwicklung von Batterie-basierten Speicherlösungen und flexibel vernetzten Strommärkten ist es jedoch fraglich, ob sich die Technologie für Wasserstoffspeicher (kurzfristig) entwickeln wird beziehungsweise lässt. Grundsätzlich ist die Stromproduktion durch das BHKW nur dann sinnvoll, wenn eine kurzweilig erhöhte Nachfrage abgefedert werden kann. Andernfalls ist es unsinnig mittels Elektrizität Wasserstoff zu produzieren, um mit diesem wieder Elektrizität zu erzeugen. Biogas ist aktuell für einen Betrieb des BHKW ökonomischer. Zudem wird grundsätzliches Mobilitätsverhalten, wie etwa die vorwiegende Nutzung von Individualverkehr, nicht in Frage gestellt.

(4) Versorgungssicherheit

Der potentielle Beitrag zu Versorgungssicherheit wäre die Funktion von Wasserstoff als Speichermittel des Windstroms. Da der Windpark gescheitert ist, ist der Aspekt Energie aus regenerativen Quellen zu speichern nicht gegeben. Speichertechnologien sind grundsätzlich positiv einzuschätzen, da sie wetterbedingte Schwankungen und auch Störungen bei der Stromproduktion durch regenerative Energiequellen abfedern.

Demnach wurde das Teilziel von H2BER, das Potential der Sektorkopplungen zwischen Windenergie- und Wasserstofferzeugung, sowie die Wasserstoffnutzung in der Energieerzeugung und Mobilität zu erproben und zu demonstrieren, erreicht. Das Teilzeil, einen dauerhaften Betrieb der Multi-Energie-Tankstelle zu etablieren, ließ sich jedoch nicht umsetzen. Dementsprechend ist der Nachhaltigkeitsbeitrag auf indirekte Effekte beschränkt: Die Erprobung und Weiterentwicklung der Technologien (dient dem Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur), eine gewisse Öffentlichkeitswirksamkeit und Netzwerkbildung zwischen den am Projekt Beteiligten. Direkte Nachhaltigkeitseffekte sind weder lokal noch regional feststellbar.

4.2 Das transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Perspektivisch können Infrastrukturkopplungen wie Wasserstofftankstellen mit kombinierten Windparks auf effiziente Weise regenerative Energie speicherfähig und nutzbar machen. Somit können diese Kopplungen einen Beitrag für die Bereitstellung von CO_2-armen Treibstoffen und eine nachhaltige(re) Mobilität liefern und zeigen ein transformatives Potential.
Das transformative Potenzial beschränkt sich dabei auf einen Treibstoffwechsel innerhalb des vorherrschenden Modells des Individualverkehrs. Eine umfangreiche Mobilitätswende, welche Veränderungen im Fahrverhalten und Sharing-Konzepte umfasst, wird nicht beschleunigt – weil es nicht Ziel von H2BER ist.
Die tatsächliche transformative Wirkung von H2BER ist jedoch beschränkt: Zwar wurde Wasserstoff testweise als Speicher und als Treibstoff genutzt. Die Wirkungen sind aber begrenzt, da die Leitidee nicht wie geplant umgesetzt werden konnte: Die Elektrizität von Stromproduktionsspitzen wird nicht verwertet und der produzierte Wasserstoff wird nicht als Treibstoff vermarktet. Indirekte Wirkungen umfassen neue Kooperationen verschiedener Industriepartner, die weiterhin Wasserstofftechnologien erproben und an die Öffentlichkeit tragen.
Insgesamt zeigt die Wasserstofftechnologie im Vergleich zur Elektromobilität einige Vorteile, wie etwa die durchschnitte Reichweite der Fahrzeuge, die Speichereigenschaft von Wasserstoff und den Umstand, dass Wasserstoff in der vorhandenen Gasinfrastruktur gespeichert und transportiert werden kann. Aufgrund der Kostenintensität der Wasserstofftechnologie, investierten zahlreiche Automobilhersteller und Institutionen zahlreicher Staaten letztendlich jedoch in die Elektromobilität. Es bleibt offen, ob die Wasserstofftechnologie zukünftig spezifische Sparten, etwa im Bereich Langstreckenlogistik, abdecken kann.

5 Fazit

H2BER konnte erfolgreich eine Sektorenkopplung zwischen der Erzeugung erneuerbarer Energie, Wärmeerzeugung und Mobilität aufzeigen. Da die Windkraftanlagen jedoch nicht gebaut wurden, konnte der ursprüngliche Plan nicht komplett umgesetzt werden. Während das Konsortium, von einer Unternehmens(teil)übernahme abgesehen, mit vereinten Kräften an dem Vorhaben arbeiteten, waren es vor allem die Metaeinflussfaktoren, welche Hindernisse für das Vorhaben schufen. Zu nennen wären dazu insbesondere die Nicht-Eröffnung des BER, der

geplatzte Groß-Windpark in Ueckly und die nicht in Betrieb genommenen Wasserstoff-betriebenen BVG-Busse.
„Wenn die Tankstelle im kommenden Herbst eröffnet, wird Wasserstoff wohl ein Nischenprodukt bleiben, was vor allem daran liegt, dass es kaum Wasserstoffautos gibt. In Berlin und Brandenburg sind es derzeit etwa 50." (Zielke 2012) Dieses Zitat gibt einen Teil des Stimmungsbildes vieler Akteure im Sektor nachhaltige Mobilität wieder. Der Fokus auf Elektromobilität und die Nischenposition der Wasserstofftechnologie nehmen der Wasserstofftechnologie Momentum, obwohl diese durch größere Reichweiten besticht (Grüger 2017, mündlich). Gleichzeitig läuft der bundesweite Netzausbau der Wasserstofftankstellen nach Plan (Brouté 2017, mündlich). Die Anzahl der bestehenden Tankstellen ist jedoch nicht unbedingt aussagekräftige in Bezug auf deren Funktionsfähigkeit und Kapazität. „Nach aktueller Planung sollen bis 2018/2019 in Deutschland rund 100 H2-Tankstellen bereitstehen. Mitte Dezember 2016 waren allerdings von den insgesamt 25 fertigen Standorten nur vierzehn tatsächlich betriebsbereit – teils wegen Wartungsarbeiten." (Geitmann 2017)
TOTAL betreibt deutschlandweit 10 Multi-Energie-Tankstellen (Stand Juni, 2017), von denen sich vier in Berlin befinden. Im Gegensatz zu H2BER bekamen diese 10 Tankstellen die Zulassung Wasserstoff als Treibstoff zu verkaufen. Spätestens als dann am 29. September 2014 die Multi-Energie-Tankstelle Jafféstrasse am Berliner Messegelände eröffnete, verschob sich der Fokus des Unternehmens und der Partner von der H2BER-Tankstelle hin zu anderen Multi-Energie-Tankstellen.
Vereinfachend ließe sich zusammenfassen, dass der Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur langsam aber stetig, bei technischen Herausforderungen und weitestgehend unter dem Radar öffentlicher Aufmerksamkeit, abläuft. Nicht unwahrscheinlich ist, dass sich Wasserstofftechnologie in der Mobilität nur in Einzelfällen (etwa im Logistiksegment, in welchem ein schneller Transport und eine hohe Distanz wichtig sind, welche wiederum eine hohe Reichweite der Fahrzeuge erfordern) durchsetzen kann. Mit Hinblick auf das Abdecken dieser Nischen in der zukünftigen Mobilität war H2BER indirekt durchaus erfolgreich: Die Industriepartner konnten verschiedene Erkenntnisgewinne erzielen. Die Erfahrungswerte, welche aus der Planung, der Umsetzung und dem Betrieb der Tankstelle gewonnen wurden, waren sicherlich auch TOTAL von Vorteil – welche inzwischen die 10. Wasserstofftankstelle in Rostock (TOTAL, 2017b) eröffnete (Stand Juni, 2017).

6 Quellenverzeichnis

ABO Wind (2017): Windpark Uckley-Nord. https://www.abo-wind.com/de/leistungen/windkraft/ausgewaehlte-projekte/windpark-uckley/uckley.php. Aufgerufen am: 08.03.2017.

Clean Energy Partnership (2016): Pressmitteilung - Wasserstofftankstelle jetzt auch in der Bodensee-Region.

dena (2017): Multi-Energie-Tankstelle H2BER. Deutsche Energie-Agentur (dena), Strategieplattform Power to Gas. http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/multi-energie-tankstelle/. Aufgerufen am: 07.03.2017.

Geitmann, Sven (2017): H2-Infrastruktur wächst, aber nicht alle Stationen betriebsbereit. 13.02.2017 https://www.hzwei.info/blog/2017/02/13/h2-infrastruktur-waechst-aber-nicht-alle-stationen-betriebsbereit/. Aufgerufen am: 15.03.2017

Gemeinde Schönefeld (2017): Wirtschaftsförderung - RWK Schönefelder Kreuz, http://www.gemeinde-schoenefeld.de/wirtschaftsfoerderung.html. Aufgerufen am: 17.06.17

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

HZwei-Blog (2014): Onlinebeitrag, https://www.hzwei.info/blog/2014/06/17/bvg-schliesst-h2-tankstelle-an-der-heerstrasse/, Aufgerufen am: 08.06.17

Ipsakis, D., Voutetakis, S., Seferlis, P., Stergiopoulos, F. und Elmasides, C. (2009): Power management strategies for a stand-alone power system using renewable energy sources and hydrogen storage. international journal of hydrogen energy, 34(16), 7081-7095.

Juweit, Klaus Kurp (2009): Versuch mit Wasserstoffbussen verpufft, Der Tagesspiegel, 08.03.09, http://www.tagesspiegel.de/berlin/bvg-versuch-mit-wasserstoffbussen-verpufft/1467844.html, abgerufen 08.06.17

Momirlan, M. und Veziroglu, T. N. (2005): The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet. International journal of hydrogen energy, 30(7), 795-802.

Mortsiefer, Henrik (2012): ORTSTERMIN: Tanken im Niemandsland. Der Tagesspiegel, 06.12.2012. http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/ortstermin-tanken-im-niemandsland/7482792.html. Aufgerufen am: 16.03.2017.

Nikionok-Ehrlich, Angelika (2013): Enertrag gibt Elektrolyseur-Handlungen an McPhy, https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/enertrag-gibt-elektrolyseur-aktivitaeten-an-mcphy-101543, Energie & Management GmbH. Aufgerufen am: 08.06.17

NOW (2017a): H2-BER – Wind-Wasserstoff-Produktionsanlage und angegliederte weltweit erste CO2-neutrale Tankstelle. Steckbrief H2 BER Tankstelle NIP – Verkehr. NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. https://www.now-gmbh.de/de/nationales-innovationsprogramm/projektfinder/verkehr/wind-wasserstoff-produktionsanlage-und-tankstelle-ber. Aufgerufen am: 07.03.2017.

NOW (2017b): H2BER – Entwicklung, Erprobung und Bewertung intelligenter Betriebsstrategien für die H2-Tankstelle am Flughafen BER. https://www.now-gmbh.de/de/nationales-innovationsprogramm/projektfinder/verkehr/h2ber. Aufgerufen am: 07.03.2017.

Presse- und Informationsamt des Landes Berlin (2006): Pressemitteilung - BVG übernimmt erste mit Wasserstoff angetriebene Busse für den Linienverkehr, 30.05.2006, https://www.berlin.de/rbmskzl/aktuelles/pressemitteilungen/2006/pressemitteilung.47638.php. Aufgerufen am: 08.06.17.

Reiner-Lemoine-Institut (2017): Pressemitteilung - Wasserstoffmobilität: Intelligente Betriebsstrategie ermöglicht Elektrolyse direkt an Tankstellen. http://reiner-lemoine-institut.de/wasserstoffmobilitaet-intelligente-betriebsstrategie-ermoeglicht-elektrolyse-direkt-an-tankstellen/.

Richter, W. (2006): Die zweite Wasserstoff-Tankstelle Berlins ist vor allem für Busse gedacht. Um die Technologie weiterzuentwickeln, will die Bundesregierung mehr Geld investieren - Wo die BVG Wasserstoff tankt, Berliner Zeitung, 15.03.06, http://www.berliner-zeitung.de/die-zweite-wasserstoff-tankstelle-berlins-ist-vor-allem-fuer-busse-gedacht--um-die-technologie-weiterzuentwickeln--will-die-bundesregierung-mehr-geld-investieren-wo-die-bvg-wasserstoff-tankt-15503722. Aufgerufen am: 08.06.17.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Schmidt, Uta (2015): BER hat Tankstelle der Zukunft. Auf dem Flughafen-Gelände kann seit einem Jahr ein Wasserstofftank genutzt werden. 28.01.2015, aktualisiert am 31.01.2015. http://www.maz-online.de/Themen/BER-Flughafen/. Aufgerufen am: 08.03.2017.

Schulz, Joachim und Wilke, Hermann (2016): Chronologie einer Polit- und Ökoposse: Errichtung eines Windparks in einem Wald in Brandenburg. 31.12.2016. http://www.gt-worldwide.com/kategorie/thema/firmenseiten-startseite/firmenseiten-index/bi-kawe-zernsdorf-11-13/bi-zdf-lebt-9-14/df-2016/bi-windpark-bi-w-df-117.html. Aufgerufen am: 08.03.2017.

Schulz, Monika und Schulz Joachim (2017): Leserbrief zur Randnotiz „Iraner besichtigen Windpark“ in der MAZ, 03.02.2017. http://www.fwkw.de/leserbrief-zur-randnotiz-iraner-besichtigen-windpark-in-der-maz/. Aufgerufen am: 08.03.2017.

Stadt Königs Wusterhausen (2011): Rathaus aktuelle. Jahrgang 22, Nr. 3 vom 25.05.2011. http://www.koenigs-wusterhausen.de/567333/rathaus. Aufgerufen am: 08.03.2017.

TEE (2016): Stadtwerke nehmen bisher größten Onshore-Windpark in Betrieb. TEE unterzeichnet Kaufvertrag für 33-MW-Windpark in Brandenburg. Trianel Erneuerbare Energien GmbH & Co. KG (TEE), Pressemitteilung vom 12.10.2016. https://www.trianel.com/pm/stadtwerke-nehmen-bisher-groessten-onshore-windpark-in-betrieb/. Aufgerufen am: 14.03.2017.

TOTAL (2012a): Freie Fahrt für die Energiewende: ENERTRAG, Linde und TOTAL vereinbaren wegweisende Kooperation für Pilotprojekt im Bereich Wind-Wasserstoff. TOTAL Deutschland GmbH, Pressemitteilung vom 14.06.2012. http://www.total.de/news/pressemitteilungen/engergiewende.html. Aufgerufen am: 15.03.2017.

TOTAL (2012b): Baustart für Pilotprojekt zur Nutzung von grünem Wasserstoff am Hauptstadtflughafen BER , Pressemitteilung vom 05.12.2012. http://www.total.de/news/pressemitteilungen/grundsteinlegung-schoenefeld.html. Aufgerufen am: 08.03.2017.

TOTAL (2014): Freie Fahrt für die Energiewende: Staatssekretärin Reiche eröffnet Wasserstoff-Großanlage in Berlin-Schönefeld. TOTAL Deutschland GmbH, Pressemitteilung vom 23.05.2014. http://www.total.de/news/pressemitteilungen/Erstbetankung-Wasserstoff-BER.html. Aufgerufen am: 08.03.2017

TOTAL (2017): Presentation - H2 Block Diagramm: On-site Production and use of H2

TOTAL (2017b): TOTAL eröffnet zehnte Wasserstoff-Tankstelle, Pressemitteilung vom 19.05.2017. http://de.total.com/de/total-eroeffnet-zehnte-wasserstoff-tankstelle

Urbansky, Frank (2016): Tankstelle der Zukunft wird Multienergiestation. 29.06.2016. http://www.enwipo.de/2016/06/29/tankstelle-der-zukunft-wird-multienergiestation/. Aufgerufen am: 14.03.2017.

Veziroğlu, T. Nejat. (1987): Hydrogen technology for energy needs of human settlements. International Journal of Hydrogen Energy, 12(2), 99-129.

Zielke, Christian (2012): Die Supertanke. Märkische Allgemeine, Lokalnachrichten 06.12.2012. https://www.bvbb-ev.de/index.php?option=com_acymailing&ctrl=archive&task=view&mailid=1060&key=0b9334ccb9bf28c823a1327b653d7b47&tmpl=component. Aufgerufen am: 08.03.2017.

8. Hybridkraftwerke in Prenzlau

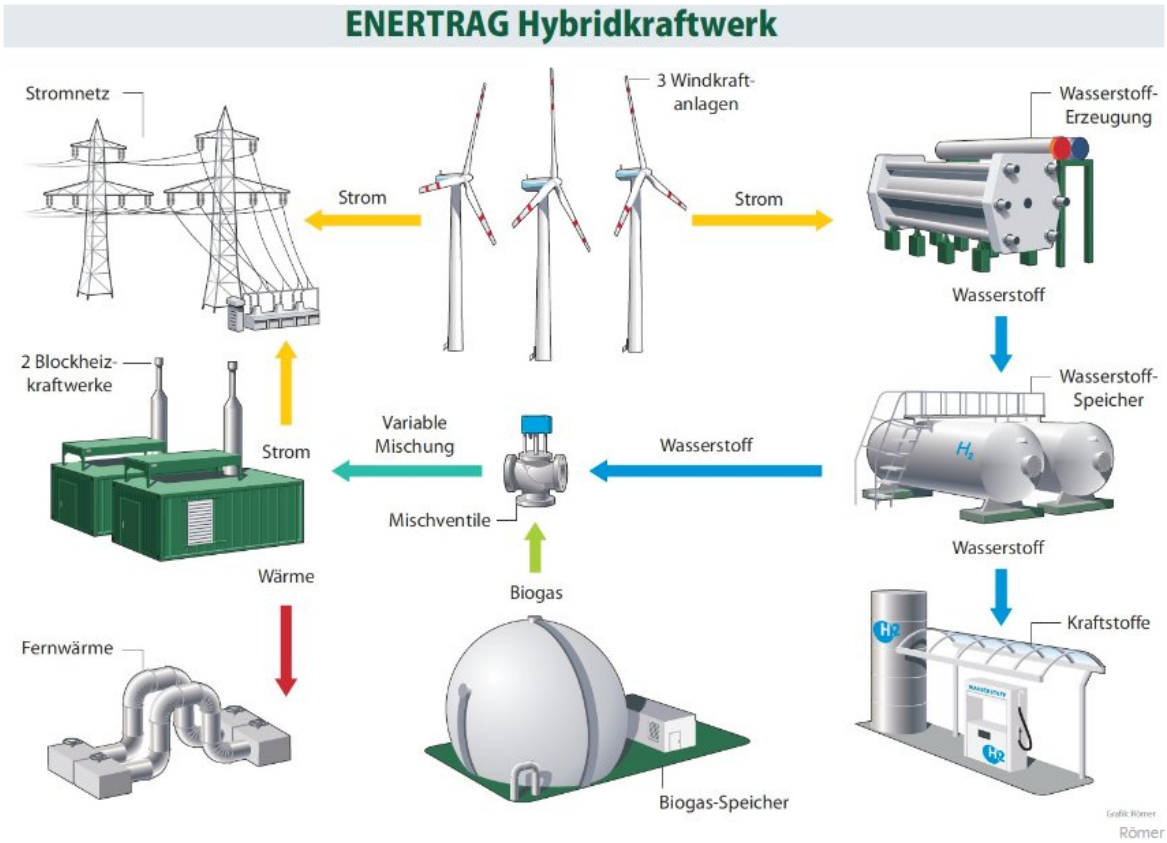
Autorinnen und Autoren: Stefanie Albrecht[1], Robert Döring[2], Alfred Olfert[3]

1 Ecologic Institut, Berlin
2 ENERTRAG, Schenkenberg
3 Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden
4 Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande

1 Einleitung

Das weltweit erste netzgesteuerte industrielle Wasserstoff-Hybridkraftwerk in Prenzlau (Brandenburg) kombiniert seit 2011 die Produktion erneuerbarer Energien (EE) mit dem Energiespeicher Wasserstoff und stellt damit bedarfsgerecht erneuerbare Energie her. Dafür wird überschüssige Windenergie durch die Produktion von Wasserstoff (Elektrolyse) gespeichert (Power-to-Gas). Der so produzierte Wasserstoff kann bei Bedarf mit Biogas gemischt und über Blockheizkraftwerke (BHKW) in Strom und Wärme umgewandelt werden. Das Hybridkraftwerk, heute auch Verbundkraftwerk genannt, begann als Forschungsprojekt und zeigte erstmalig, dass eine zuverlässige Versorgung mit Strom aus EE (Grundlastfähigkeit) durch die Rückverstromung von Wasserstoff möglich ist .Dies war bis dahin nur mit fossiler Energie möglich. Mittlerweile ist die Rückverstromung in den Hintergrund gerückt. Der aus der überschüssigen Windenergie produzierte Wasserstoff wird als Kraftsoff an Berliner Tankstellen verkauft und als Windgas ins Erdgasnetz eingespeist.

Abbildung 18: Funktionsweise ENERTRAG Hybridkraftwerk



Die ENERTRAG Aktiengesellschaft, ein europäisches Energieunternehmen, das sich auf die Produktion erneuerbarer Energien, insbesondere Windkraft, spezialisiert, setzte die Planung für das Hybridkraftwerk um und leitet es bis heute. Die Energiekonzerne TOTAL Deutschland GmbH und Vattenfall Europe und das Verkehrsunternehmen Deutsche Bahninvestierten 1,5 Mio. EUR in das 21 Mio. EUR Projekt und waren als Juniorpartner an der Forschung und Erprobung der Technologie beteiligt (ENERTRAG 2013).
Die ursprüngliche Leitidee von ENERTRAG im Hinblick auf das Wasserstoff-Hybridkraftwerk war die bedarfsgerechte Kombination der Herstellung von Strom, Treibstoff und Wärme aus erneuerbaren Quellen. Nach der Forschungsphase zur Rückverstromung und dem erfolgreichem Aufzeigen der Grundlastfähigkeit von EE erschloss die ENERTRAG den rentablen Windgas-Markt., der anfangs mitgedacht wurde, jedoch nicht im Fokus stand.
Die vorliegende Analyse betrachtet das ENERTRAG-Hybridkraftwerk in Prenzlau als bisher wenig verbreitete Nischeninnovationim bestehenden Regime der Energieerzeugung und -speicherung. Durch die vielfältige Anwendung von Wasserstoff, welches durch die Kopplung entsteht, entstehen als Produkte des Kraftwerkes regenerativer Strom, Wärme, Windgas und H_2-Treibstoff.

Hierdurch ergibt sich ein breiter Analysefokus hinsichtlich der räumlichen und funktionalen Begrenzung der Infrastrukturlösungen:

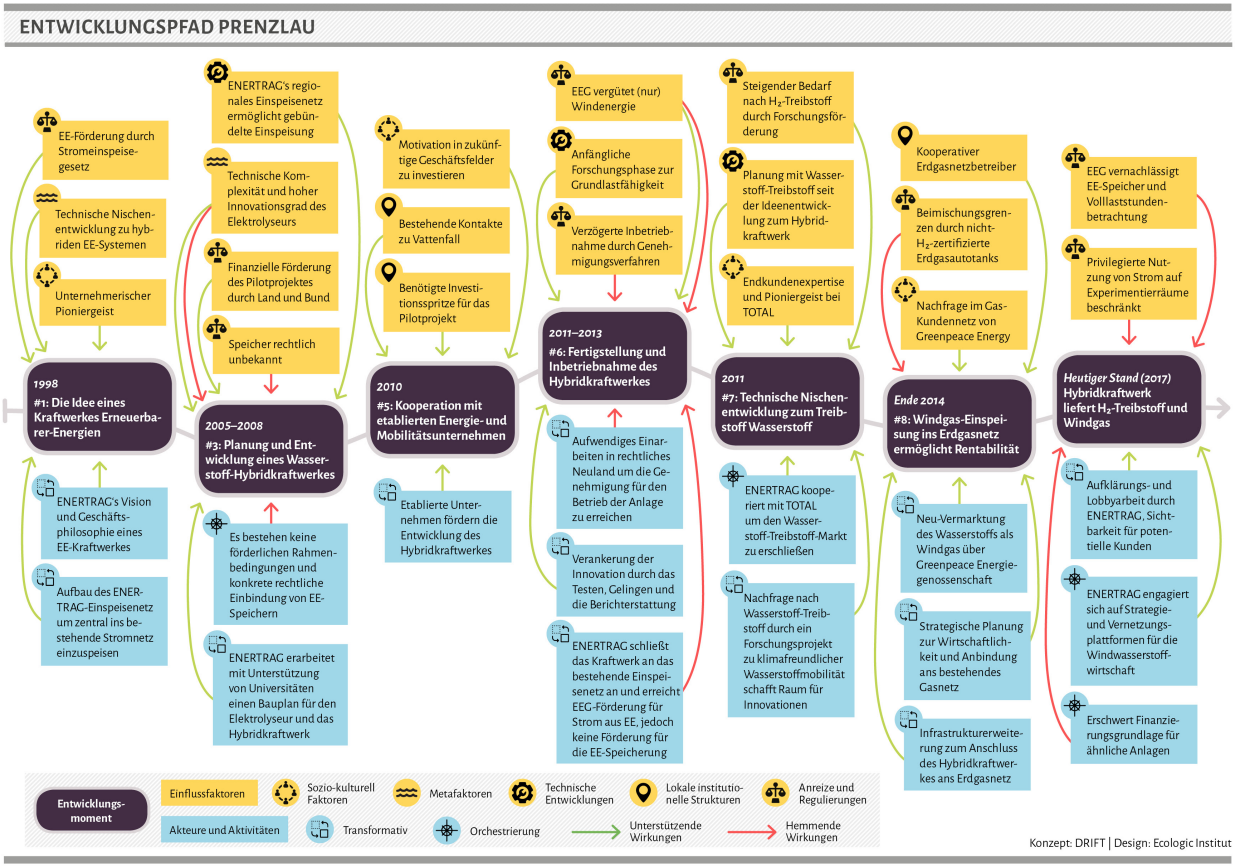
- lokale Wärmeversorgung von rund 80 Haushalten in Prenzlau durch Windgas im Erdgasnetz?,
- regionale Treibstoffversorgung durch die Lieferung von Wasserstoff an eine Tankstelle in Berlin,
- nationale Stromeinspeisung: Rückverstromung von gespeichertem Wasserstoff und damit Stromeinspeisung über ein örtliches Umspannwerk ins nationale (und europäische) Stromnetz während der Forschungsphase,
- nationale Windgas-Einspeisung: Einspeisung von Wasserstoff ins nationale und damit europäische Erdgasnetz, das dann als Speicher dient, über einen örtlichen Pipelineanschluss.

Die Kopplung von EE-Produktion und gespeichertem Wasserstoffs im Kraftwerk wirkt also einerseits auf die Strom-, Wärme- und Windgas-Einspeisung am Standort Prenzlau und andererseits auf die Treibstoffversorgung in Berlin. Weiterhin wird die von Beginn an mitgedachte, überregionale Ebene auch wegen ihrer Relevanz für das Nachhaltigkeits- und Transformationspotential der Infrastrukturlösung betrachtet (Windgasspeicherung und -versorgung über das bundes- und europaweit gut ausgebaute Erdgasnetz). Die Infrastrukturkopplung im Hybridkraftwerk wurde als innovative technische Lösung entwickelt und umgesetzt, um das bislang vorherrschende Problem der Regelbarkeit und Versorgungssicherheit EE durch die Speicherung von Wasserstoff zu lösen. Die Anlage hat somit Potential, an Ressourceneffizienz beizutragen, die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas zu reduzieren, CO_2-Emissionen zu senken und an lokaler Energieautarkie beizutragen. Sie kann einen Beitrag an einer lokal-regionalen Transformation hinsichtlich einer nachhaltigeren Energie- und Treibstoffversorgung sowie überregional bei der Windgasversorgung leisten und dabei das bestehende System der konventionellen Energieversorgung (aufgrund des wiederlegten Arguments der besseren Regelbarkeit und Versorgungssicherheit) grundlegend hinterfragen.
Das Vorgehen folgt dem Analyserahmen für TRAFIS AP 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf einem Interview mit der ENERTRAG AG als Hauptakteur im Entwicklungspfad des Hybridkraftwerkes. Das Ziel der folgenden Analyse ist es, bedeutende Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad des Hybridkraftwerkes in Prenzlau herauszuarbeiten. Im Folgenden beschreiben wir den (bisherigen) Entwicklungspfad des Hybridkraftwerkes von der Idee bis zum heutigen Stand und identifizieren bedeutende Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad und auf zukünftige Optionen dieser Infrastrukturkopplung (Abschnitt 2). Im Folgenanalysieren wir insbesondere die Einflussfaktoren und akteursbezogene Prozesse innerhalb des Entwicklungspfades (Abschnitt 3). Zuletzt analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) des Hybridkraftwerkes zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit diese Infrastrukturkopplung zu einer Nachhaltigkeitstransformation bezüglich Strom-, Wärme- und Treibstoffversorgung beitragen kann (Abschnitt 4). Das Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im Folgenden stellen wir den Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes der ENERTRAG AG von der Idee bis zum heutigen Stand anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente vor. Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als wenig verbreitete Nischeninnovation im Bezug zum bestehenden Regime der erneuerbare Energieerzeugung und Energiespeicherung für die Strom- und Windgasversorgung in Deutschland (und Europa), die Treibstoffversorgung in Berlin und die Wärmeversorgung in Prenzlau. Aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff beeinflusst die Infrastrukturkopplung mehrere Infrastrukturen im Energiebereich. Die Leitidee des Hybridkraftwerkes, bedarfsgerechte Energieversorgung durch EE aufzuzeigen, wurde anfangs als Forschungsprojekt mit Fokus auf den Strombereich gelegt und spielt heute insbesondere für die Windgasversorgung eine Rolle. Abbildung 19 gibt eine visuelle Übersicht über die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfades des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes Prenzlau und die wesentlichen Einflussfaktoren

Abbildung 19: Der Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau.



2.1 Entwicklungsmoment #1: Die Idee eines Kraftwerkes Erneuerbarer-Energien (1998)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

1998 wird das europäische Energieunternehmen ENERTRAG mit dem Leitbild ein EE-Kraftwerk zu entwickeln gegründet. Das Unternehmen im Landkreis Uckermark verfolgt das Ziel „mit Hilfe von Windenergie eine zuverlässige, bedarfsgerechte und preiswerte Energieversorgung aufzubauen“ (ENERTRAG 2014). Windkraftanlagenallein sind reine Energieerzeugungsanlagen, die wetterbedingt nicht zu jedem Zeitpunkt Energie liefern, wenn sie gebraucht wird, aber auch produzieren, wenn er netzseitig nicht gebraucht wird. Teil der Geschäftsphilosophie und die große Vision der ENERTRAG ist es daher, ein regelfähiges EE-Kraftwerk zu schaffen, dass stufenlos und bedarfsgerecht Energie bereitstellt.
Nach der ENERTRAG-Leitidee eines EE-Kraftwerkes werden EE-Systeme von verschiedenen Quellen zusammen geschaltet, mit einem geeigneten Speichermedium gekoppelt und dann über eine Schnittstelle ins europäische Verbundnetz geführt. Bisher entwickelte Anlagen und Technologien decken nur Teile der neu zu entwickelnden Technologie ab (wie zum Beispiel das hybride Kraftwerk mit Wind-PV-Anlage in Pellworm, Hochtemperatur-Brennstoffzellen und Gasturbinen).
Ein Wasserstoff-Hybridkraftwerk ist damit eine Nischeninnovation im Bereich der Energieerzeugung und -speicherung. Zum Zeitpunkt der Ideenentwicklung des Kraftwerkes sind die mittlerweile relativ etablierten Produktionssysteme für EE (wie Windkraftanlagen) selbst noch in der Nische. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere das Stromeinspeisegesetz (und später das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)), wirkten von Beginn an förderlich auf die Entwicklung von EE-Erzeugungssystemen, förderten jedoch nicht EE-Energiespeicher oder gekoppelte Lösungen. Hinsichtlich EE-Speicher bestanden etablierte Lösungen für kurzfristige oder geographisch-bedingte Speicher (wie Batterien oder Pumpspeicherkraftwerke), und langfristige Speichersysteme und auch die Kopplung dieser mit EE-Erzeugungsanlagen (wie Power-to-Gas Systeme) wurden beforscht, jedoch nicht im industriellen Maßstab umgesetzt. Im etablierten Regime der Energiespeicher gilt die Wasserstoffstofftechnologie weiterhin als Zukunftsspeicher (Rundel u. a. 2013) und wird seit den 1980ern zu einer schadstofffreien Energieversorgung gezählt (Otto 1989). ENERTRAG sieht sich als Pionier und Technologietreiber und wollte mit einem EE-Kraftwerk erstmalig nachweisen, dass EE Grundlastfähigkeit herstellen können.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- EE-Förderung durch Stromeinspeisegesetz (1991): Mit dem Vorläufer des EEG wird die Einspeisung von Strom aus EE ins öffentliche Netz erstmals geregelt und eine Mindestvergütung festgelegt. Durch dieses Vergütungsinstrument rentiert und entwickelt sich die Stromerzeugung durch Windkraft sprunghaft an günstigen Standorten.
- Energiewende in Deutschland: In Deutschland beginnt die Energiewende in ihren ersten Entwicklungen in den 1970er Jahren mit einem gesteigerten Umwelt- und Klimaschutzbewusstsein und der Anti-Atomkraftbewegung und erlangt Auftrieb durch politische Fördermaßnahmen in den 1980ern und dem Stromeinspeisegesetz 1991.
- Technische Nischenentwicklung zu hybriden EE-Systemen: Die Herausforderungen bedarfsgerechter Versorgung durch EE werden vermehrt diskutiert und beforscht. Die

Kopplung von EE mit Energiespeichern ist langfristig sinnvoll für eine Umstellung auf 100% EE, denn Speichersysteme können EE nutzbarer machen und sie besser ins bestehende System integrieren. Sie können den Netzausbau nur begrenzt reduzieren, jedoch insbesondere die Verteilsysteme entlasten. Bei hybriden Energiesystemen werden verschiedene Energiequellen gekoppelt, wodurch ihre Effizienz verbessert wird und eine zuverlässigere Energieversorgung stattfindet (Erdinc und Uzunoglu 2012). Dabei sind besonders Wind-PV-Anlagen beliebt (Deshmukh und Deshmukh 2008). Das Hybridkraftwerk auf der Insel Pellworm entstand bereits 1992 durch die Kopplung von Wind und Solarenergie (und wurde 2013 um ein hybrides Speichersystem im Smart Grid ergänzt) (Schleswig-Holstein Netz AG 2017).

- Unternehmerischer Pioniergeist: Das Unternehmen ENERTRAG sieht sich selbst als Technologietreiber und bestätigt mit seiner Geschichte verschiedene Pionierarbeit bei sozialen und technischen Innovationen (Vorreiter bei Anschlusslösungen modernen EE-Anlagen ins Energienetz, Bürger- und Mitarbeiterbeteiligungen, deutscher Windenergiepionier in Frankreich) umzusetzen (ENERTRAG 2014).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Visionsentwicklung und Geschäftsphilosophie der ENERTRAG eines EE-Kraftwerkes: Mit der Gründung des europäischen Energieunternehmen ENERTRAG 1998, gibt der Geschäftsführer und Inhaber Jörg Müller seinen Mitarbeitenden den Auftrag ein großes Kraftwerk zu bauen, dass rein erneuerbaren Energie erzeugt und speichert. Jörg Müller ist studierter Kernphysiker (Studium in Moskau), „ein richtiger Kraftwerker“ der immer ein großes Kraftwerk verwirklichen wollte. Zu einem Kraftwerk gehört seines Verständnisses nach auch ein Speicher (Döring 2017, mündlich).
- Aufbau des ENERTRAG-Einspeisenetzes: „Kraftwerk Uckermark“ als einen der ersten Schritte zum Kraftwerk, baut UET(Vorgänger von ENERTRAG)die ersten Windkraftanlagen (1993) und Windfelder (1994) in der nordöstlichen Uckermark, vernetzt diese unterirdisch (ab 1995) frühzeitig und baut ein eigenes Umspannwerk in Bertikow, um direkt in die europäische Höchstspannungsebene einzuspeisen (ENERTRAG 2014).

2.2 Entwicklungsmoment #2: Wasserstoff als geeignetes Speichermedium (Anfang 2000)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Für das EE-Kraftwerk nimmt ENERTRAG Wasserstoff als Speichermedium in den Fokus. Um die Erzeugung und Nutzung von Strom zu entkoppeln, braucht es einen saisonalen Speicher um 1-2 Wochen windarme Zeiten zu überbrücken. Bei fossilen Energieträgern werden zum Beispiel Kohlehalden, Gaskasernen, das Gasnetz oder Benzintanks als Speichermedium genutzt. Bei EE wird anfangs kaum über Speicher nachgedacht, sie wird als „Zufallsstrom“ bezeichnet. Laut der Fraunhofer UMSICHT-Studie „Speicher für die Energiewende“ von 2013 sind nur wenige Systeme marktreif und es ist unklar, welche Strom- und Wärmespeichertechnologie sich langfristig durchsetzen wird (Rundel u. a. 2013).

Auf der Suche nach Lösungen für die Energiewende identifiziert ENERTRAG mithilfe von Universitäten und anderen Institutionen Wasserstoff als geeignetes Speichermedium. Es scheint ein universell nutzbarer Energieträger mit extrem hoher Energiedichte (gewichtsbezogen) zu sein. Über seine Funktion als Treibstoff und die Einspeisung ins Gasnetz wird gesprochen, im Fokus steht zu dem Zeitpunkt jedoch die Speicherfunktion überschüssiger Windenergie (Döring 2017, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Technische Nischenentwicklung zum Energiespeicher Wasserstoff: Erste umfangreiche Forschungen finden in den 1980ern, unter anderem an der TU Braunschweig, der Universität Stuttgart (DFG-Sonderforschungsbereich "Wasserstoffverbindungen als Energieträger") statt. Das Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), fokussierte anfangs Solarenergie als Quelle für die Wasserstoffproduktion und -speicherung (Bockris und Justi 1981).Mit Power-to-Gas Technologien, die Anfang 2000 einen Aufschwung in der Entwicklung erfahren, kann überschüssige Energie aus Erneuerbaren in Form von Wasserstoff oder Methan gespeichert werden. In Deutschland wird die Technologie in 20 Forschungs- und Pilotanlagen getestet und weiterentwickelt, wobei das älteste Projekt seit 2009 (Windpark RH2-WKA) als "Regeneratives Regelkraftwerk" mithilfe von Wasserstoffspeicherung durch Windenergie zur verbesserten Netzintegration von EE beiträgt (dena 2017). In der Fraunhofer-UMSICHT Studie von 2013 wird Wasserstoff als Zukunftsspeicher beschrieben (Rundel u. a. 2013).
- Skepsis der Energiebranche spornt Pioniergeist an: Konventionelle Systeme speichern Energie recht kurzweilig. Die großen Wasserspeicheranlagen für Atom- und Kohlestrom sind nach 6-8h leer. Für kleinere Anwendungen (zum Beispiel Netzstabilisierung) sind auch Batterien einsetzbar. Um mehrere Wochen Energie zu speichern (um Wind- oder Sonnen-arme Zeiten auszugleichen) gibt es keine Lösungen und Forschung dazu wird skeptisch gesehen. „So etwas gab es zu dem Zeitpunkt in Europa nicht und wir [ENERTRAG] wollten nachweisen, dass das geht“ (Döring 2017, mündlich).
- Umfangreiches Erdgasnetz in Deutschland und Europa: Als etablierte und für Wasserstoff geeignete Infrastruktur mit großer Speicherkapazität und einem leistungsfähigen Verteilnetz (dena 2017; Döring 2017, mündlich ENERTRAG 2013).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Kooperation mit Universitäten und Investition in Forschung zu Energiespeichern: ForschungsHandlungen und Suche nach einem geeigneten saisonalen Speichermedium der ENERTRAG. Sie arbeiten mit der FH Stralsund, der TU Braunschweig und weiteren Instituten zusammen.
- Pionier- und Forschergeist der ENERTRAG begünstigt die Entscheidung zum Speichermedium Wasserstoff.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Planung und Entwicklung eines Wasserstoff-Hybridkraftwerkes (2005 – 2008)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Aufbauend auf ihre Forschungs- und Entwicklungs-Handlungen plant die ENERTRAG ein Pilotprojekt: Ein Wasserstoff-Hybridkraftwerk in der Uckermark. Mit dieser erstmaligen netzgesteuerten industriellen Wasserstoff-Produktion soll Strom bedarfsgerecht geliefert werden. Die ursprüngliche Konstruktion sieht drei Windkraftanlagen zur Stromerzeugung vor, gekoppelt mit einem Elektrolyseur mit direkter physischer Anbindung an die Windkraftanlagen um den überschüssigen Strom in Wasserstoff umzuwandeln. Drei oberirdische Wasserstofftanks sollen Energie für eine Woche speichern. Bis auf den Elektrolyseur (der neu entwickelt wurde) sollten Standardkomponenten genutzt werden, die intelligent mit einer eigens entwickelten Software verbunden werden. Als Produkte des Hybridkraftwerkes entstehen Wärme und Strom, die in bestehende Netze eingespeist werden sollen. Wasserstoff soll zur Regelbarkeit des Kraftwerkes dienen. Weniger im Fokus der Forschung, aber bereits diskutiert und in Ansätzen geplant, ist es den Wasserstoff für die Industrie und den Verkehr als Treibstoffnutzbar zu machen und ins Gasnetz einzuspeisen. In der ENERTRAG-Version managen vernetzte EE-Kraftwerke die optimale Einspeisung ins Übertragungs- und Erdgasnetz und ersetzen damit die Notwendigkeit eines weiteren regionalen Netzausbaus und garantieren Netzstabilität. Kosteneffizienz in der Wasserstoffproduktion war während der Zeit nicht das maßgebliche Kriterium. Es ging vielmehr um das Aufzeigen der Grundlastfähigkeit EE.
Als Pilotprojekt wird das Hybridkraftwerk durch das Land Brandenburg, den Bund und die EU finanziell gefördert. ENERTRAG übernimmt die Investitionen für den Infrastrukturausbau und die F&E Handlungen. Im Gegenzug soll das Hybridkraftwerk von 2011 bis 2013 in einem Testmodus laufen und verschiedene Konzepte für die Geldgeber prüfen.
Der Standort des Kraftwerkes in Prenzlau ergab sich im Verlauf aus dem ENERTRAG Unternehmenssitz in der windreichen Uckermark nahe der Metropole Berlin und dem Ausbau und der Vernetzung von Windkraftanlagen sowie deren Stromeinspeisung in die europäische Hochspannungsebene durch ENERTRAG („Kraftwerk Uckermark“). Die EE-Erzeugung ist örtlich hoch, deren längerfristige Speicherung bislang nicht erprobt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- EEG fördert EE zunehmend: Als Nachfolger des Stromeinspeisegesetz wird 2000 das EEG eingeführt, welches das Vorrangprinzip für EE einführt. Im zeitlichen Verlauf der Energiewende werden die Ziele, Energie aus regenerativen Quellen zu erschließen, erhöht und EE finanziell zunehmend (differenzierter) gefördert.
- Speicher rechtlich unbekannt: Es gibt keine einheitliche energierechtliche Begriffsdefinition für Energiespeicher. Das Energiewirtschaftsgesetzes (EnGW) stuft Power-to-Gas Anlagen als Letztverbraucher ein statt sie extra zu führen, was zu höheren Umlagen und Steuern führt (dena 2017) Novellierungen des EEG fördern (bis heute) keine Energiespeichersysteme.
- Studie zeigt Wirtschaftspotential Brandenburgs durch Windenergieexport und Hybridkraftwerk als Lösungsoption: Eine Kernbotschaft der „Netzstudie Brandenburg“

ist das hohe Potential wirtschaftlicher Stärke von Brandenburg als Energieexporteur durch hohe Produktionsmöglichkeit bei geringem Verbrauch in der Region (Schwarz u. a. 2008). Die Netzstudie regt die „technologische und anlagentechnische Weiterentwicklung des Konzepts von Erneuerbaren-Energie-Hybridkraftwerken mit Direktanschluss an das Hochspannungsnetz und die daran anschließende Realisierung eines Pilotprojektes im Land Brandenburg“, auch in Anbetracht des bisher bestehenden Forschungsvorsprungs im Vergleich zu anderen Bundesländern und zum Ausland, an (Schwarz u. a. 2008; S. 10). Auch das Hybridkraftwerk wird in der Studie als Szenario aufgezeigt.

- Landespolitisches Strategien zur Förderung von EE: Brandenburgs Energiestrategie 2020 mithilfe von EE Energieexporteur zu sein und Forschungs-und Pilotprojekte für die Stromumwandlung Erneuerbarer Energie in Wasserstoff und Stromspeicherung zu fördern (Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg 2008)
- Finanzielle Förderung des Pilotprojektes durch Land und Bund: Die Gesamtprojektkosten betragen über 21 Mio. EUR, wobei 10 Mio. der Investitionen in die Entwicklung des Wasserstoffsystems gehen (ENERTRAG 2013). ENERTRAG beteiligt sich aus eigenen Mitteln mit 2 Mio. EUR an der Forschung und Entwicklung (ENERTRAG 2013) und 6 Mio. EUR kommen vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) der EU im Rahmen des operationellen Programms „Brandenburg“ im Programmplanungszeitraum 2007-2013 (EC 2015). Weitere Fördermittel kommen von der Gemeinschaftsaufgabe Ost (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (ENERTRAG 2013).
- Förderliche EE-Einstellung am Standort Prenzlau: Die Stadt in der windstarken Uckermark ist sehr positiv gegenüber EE-Entwicklungen eingestellt. 2005 beschließt die Stadt ihr Leitbild als „Stadt der erneuerbarer Energien“ (Neben der ENERTRAG siedelt sich die aleo solar AG bei Prenzlau und ein Innovationscluster zu EE an.)
- Standort mit Nähe zum ENERTRAG Hauptsitz und Windfeldern: Prenzlau liegt außerdem nahe am Hauptsitz der ENERTRAG sowie deren Windfelder, was die Infrastrukturkosten niedrig hält.
- Wärme-Einspeisung in Wohngebiet mit Einkommensschwachen Haushalten: Die ENERTRAG plant (und setzt später auch um), die im Hybridkraftwerk produzierte Wärme zu einem sehr günstigen Preis in ein einkommensschwaches Prenzlauer Wohngebiet zu leiten (Döring 2017, mündlich).
- ENERTRAG‘s regionales Einspeisenetz ermöglicht gebündelte Einspeisung: Seit 2003 betreibt ENERTRAG ein eigene Einspeisenetz („Kraftwerk Uckermark“). Dies bildet die Grundlage für das Hybridkraftwerk, denn so kann dessen Energiemix Windkraft-Biomasse direkt ins europäische Verbundnetz eingespeist werden (ENERTRAG 2008).
- Technische Komplexität und hoher Innovationsgrad des Elektrolyseurs: verlangt hohe F&E-Investitionen, ansonsten werden Standardkomponenten genutzt. Der hohe Innovationsgrad ermöglicht die Förderung als Pilotprojekt.

- Effizienz durch digitale Kopplung: Die Digitalisierung schreitet weltweit voran. Durch intelligente Verknüpfung von verschiedenen Anforderungen und Lasten und deren Computer-basierte Simulationen und Optimierung können auch hybride Energiesysteme effizienter geregelt werden (Erdinc und Uzunoglu 2012). Die ENERTRAG entwickelt und programmiert dafür ihr eigenes System und steuert alle Anlagen über Glasfaserkabel (ENERTRAG 2008).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- ENERTRAG akquiriert Forschungsgelder für das von ihnen positionierte Pilotprojekt um zu zeigen, wie Schwankungen im Stromnetz durch EE ausgeglichen werden können.
- ENERTRAG findet Partner für die Forschungs- und EntwicklungsHandlungen zur technischen und ökonomischen Realisierung des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes (FH Stralsund, TU Braunschweig, Deutscher Wasserstoff Verband). Schwerpunkte der F&E Handlungen sind (ENERTRAG 2008):
  - Entwicklung der Steuerungseinheit des Elektrolyseurs
  - Erforschung der schnellen Regelbarkeit im Einspeisenetz
  - Untersuchung des Dauerbetriebes bei Schwachwind
  - Entwicklung des Hybrid-BHKW (H_2-Biogas)
  - Kompensation des Fehlers der Windprognose zwecks Netzstabilität
  - Optimierung der Wirtschaftlichkeit
- ENERTRAG wird Kooperationspartner bei der „Netzstudie Brandenburg“ und bezieht sich in seinen Präsentationen auf diese (ENERTRAG 2008, 2007) und hebt hervor, dass das Windkraft-Potential von Brandenburg in 2020 bei 50% des Stromverbrauches liegt und das Land in 2040 Energieexporteur sein kann.
- ENERTRAG berät sich mit der Stadt Prenzlau zum lokalen Wärmebedarf und identifiziert ein Prenzlauer Wohngebiet mit einkommensschwachen Haushalten.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Grundsteinlegung am Hybridkraftwerk durch Bundeskanzlerin (April 2009)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Bundeskanzlerin Angela Merkel legt am 21.04.2009 den Grundstein für das weltweit erste Wasserstoff-Hybridkraftwerk. Sie würdigt das zukunftsweisende Pilotprojekt als „qualitativen Meilenstein“ bei der Nutzung und Speicherung von EE (Fischer 2009; Merkel 2009; Wagner 2011; WDR 2016). Auch der brandenburgische Ministerpräsident Matthias Platzeck lobte das Voreiterprojekt mit überregionaler und internationaler Signalwirkung (Fischer 2009). Gemeinsam versenken sie eine Wasserstoffflasche im Grundstein des Kraftwerkes (WDR 2016). Symbolisch bekräftigten die politischen Entscheidungsträger damit das Hybridkraftwerk als wichtigen Baustein für die Energiewende.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Zunehmend (inter)nationales Interesse an klimafreundlichen Alternativen und technischen Entwicklungen zu Speichersystemen: Die Anwesenheit von Bundeskanzlerin Merkel unterstreicht die bundespolitische Unterstützung für Lösungen der Versorgung durch erneuerbare Energie. Die Grundsteinlegung erfolgt vor den Verhandlungen für die Nachfolgeabkommen des Kyoto-Abkommens. Die Energiewende in Deutschland schreitet mit erhöhten Ausbauzielen für EE weiter voran. Mitunter eine der größten Herausforderungen der Energiewende ist die Unbeständigkeit der EE durch ihre Abhängigkeit vom Wetter. Um Flaute- und Hochzeiten auszubalancieren, müssen bessere Speichersysteme entwickelt, die Energieeffizienz erhöht und der Strommarkt neu organisiert werden (Bundesregierung 2016).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Das Wasserstoff-Hybridkraftwerk in Prenzlau wurde politisch (symbolisch) unterstützt und in die breitere Öffentlichkeit getragen durch die Anwesenheit der Bundeskanzlerin und ehemaligen Umweltministerin Angela Merkel und des Ministerpräsidenten Matthias Platzeck bei der Grundsteinlegung.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Kooperation mit etablierten Energie- und Mobilitätsunternehmen (2010)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Kurz vor dem Betriebsstart beteiligen sich drei etablierte Unternehmen an den Investitionen in das Hybridkraftwerk. Drei neue Juniorpartnerkamen zum Vorhaben: Der Mobilitätskonzern Deutsche Bahn AG, der Mineralölkonzern TOTAL Deutschland GmbH und das Energieversorgungsunternehmen Vattenfall GmbH (Verivax 2010). Die drei neuen Partner beteiligen sich mit jeweils 500.000 EUR am Projekt, hatten aber keinen Einfluss auf die Leitidee (Döring 2017, mündlich, ENERTRAG 2013).
Vielmehr erhofften sich TOTAL und die Deutsche Bahn (als größter deutscher Stromverbraucher) eine Wasserstoffquelle zur alternativen Strom- und Treibstoffversorgung und Einblicke in neue mögliche Geschäftsfelder zu EE. Vattenfall war insbesondere am Wissensaustausch zur Wind-Wasserstoff-Technologie interessiert (Niederlausitz aktuell 2011). ENERTRAG fasste zusammen: „Das gemeinsame Interesse der Projektpartner ist die planbare Bereitstellung von Windstrom, die Erforschung von Wasserstoff als Speichertechnologie sowie die Bereitstellung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff für Antriebe“ (ENERTRAG 2013: S. 1).Ministerpräsident Matthias Platzeck (SPD) unterzeichnet den Kooperationsvertrag, er begrüßt die Zusammenarbeit um damit das höhere Ziel Brandenburgs von 20%-EE-Anteil zu erreichen (Verivax 2010).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Benötigte Investitionsspritze für das Pilotprojekt: Die hohen Investitionskosten für das Hybridkraftwerk können nicht allein durch ENERTRAG und die öffentlichen

Forschungsgelder gedeckt werden. Daher beteiligen sich drei Juniorpartner am Forschungsprojekt.

- Motivation Externer in zukünftige Geschäftsfelder zu investieren: Wasserstoff wird als zukünftiger klimafreundlicher Treibstoff diskutiert. Die Deutsche Bahn will bis 2050 ihre Züge CO_2-frei betreiben (Wagner 2011) und TOTAL plant Wasserstoff an drei Berliner Tankstellen anzubieten (Verivax 2010) und haben damit Interesse an den Entwicklungen zu Wasserstoff beteiligt zu sein um damit ihre Geschäftsmodelle weiter zu entwickeln.
- Know-how um einzigartige industrielle Wind-Wasserstoff-Anlage: Die technischen Details um die Entwicklung der Anlage und den Umgang mit Wasserstoff sind ein Anreiz für die Investoren, da erstmalig in industriellem Maße „grüner" Wasserstoff produziert werden soll.
- Vattenfall als langjähriger Kooperationspartner: Als Eigentümer des zentralen ostdeutschen Stromfernleitungsnetzes verhielt sich Vattenfall schon während des Aufbaus des ENERTRAG Einspeisungsnetzes und Umspannwerks kooperativ gegenüber der ENERTRAG. „Das war damals keine Selbstverständlichkeit, weil sich viele Netzbetreiber sehr zurückhaltend EE gegenüber geäußert haben" (Döring 2017, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Vernetzung zu etablierten Konzerne der Energie- und Mobilitätsbranche (DB, TOTAL, Vattenfall), die das innovative Pilotprojekt finanziell unterstützen und sich Zugang zu Fachwissen eines möglichen Zukunftsmarktes sichern.
- ENERTRAG bleibt in der Leitung zur Fertigstellung des Hybridkraftwerkes und koordiniert das Netzwerk um das Hybridkraftwerk.

2.6 Entwicklungsmoment #6: Fertigstellung und Inbetriebnahme des Hybridkraftwerkes (2011-2013)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Die Inbetriebnahme der Kraftwerkes erfolgte am 25.10.2011 durch den brandenburgischen Ministerpräsident Platzeck (WDR 2016; Oschmann 2011). Ursprünglicher war der Betriebsstart des Kraftwerks in 2010 geplant, er verzögerte sich Herbst 2011 (Verivax 2010), insbesondere aufgrund der zeitaufwendigen Klärung von Genehmigungsfragen (Döring 2017, mündlich). ENERTRAG-Vorstand Werner Diwald nennt das Kraftwerk klein, jedoch von industriellem Umfang. Man müsse noch den „Umgang mit den Behörden lernen" um eine größere Anlage zu verwirklichen (Oschmann 2011). Das Kraftwerk umfasst drei Windkraftanlagen zur Stromproduktion, den neu entwickelten Elektrolyseur zur Produktion von Wasserstoff, drei Wasserstofftanks, ein BHKW sowie eine Biogasanlage für die Rückverstromung und Wärmeproduktion (siehe Abbildung 20 und 21). Das Kraftwerk wird mit dem ENERTRAG-Einspeisenetz verbunden (was den Strom direkt ins europäische Stromnetz führt). Das Kraftwerk sichert zehn und schafft sechs neue Arbeitsplätze bei ENERTRAG die für die Entwicklung, den Bau und Betrieb der Anlage zuständig sind (ENERTRAG 2013).

Zu Beginn läuft das Kraftwerk im Testmodus eines Forschungsprojektes, wobei verschiedene Konzepte für die Geldgeber von 2011 bis 2013 geprüft werden. Einerseits werden verschiedene Varianten zum Erreichen der Grundlastfähigkeit geprüft. Ein Mix aus Wasserstoff und Biogas für die Rückverstromung wird als preiswerte und technisch umsetzbare Variante identifiziert (heute würde ENERTRAG mit Brennstoffzellen arbeiten aufgrund der hohen Flächeninanspruchnahme durch Biogas).Auch die Verstätigung von Energieeinspeisung bei Windböen, bei denen die Stromerzeugung kurzzeitig steigt und sinkt, sowie die Einspeisung nach Börsenstrompreis werden geprüft.
Die Versorgungsleistung ist insgesamt relativ klein und regional begrenzt: Die drei Windturbinen des Kraftwerkes weisen eine Nennleistung von rund 6 MW auf, die im Vergleich zu Atom- oder Kohlekraftwerken mit einer Leistung von rund 1000 MW eher gering ausfällt. Insgesamt soll das Hybridkraftwerk laut ENERTRAG rund 16 GWh Strom im Jahr produzieren. Dabei kann die über die BHKW produzierte elektrische Energie aus gespeichertem Wasserstoff (rund 2.776 MWh pro Jahr) den Verbrauch von 600 Durchschnittshaushalten decken. Die thermische Energie (rund 2.250 MWh pro Jahr) wird in das Stadtnetz eingespeist und kann rund 80 Haushalte versorgen – sie ist aber nur in den kalten Jahreszeiten von Nutzen. Der Gesamtwirkungsgrad über alle drei Energiesektoren beträgt je nach Fahrweise des Kraftwerkes bis zu 65 % (ENERTRAG 2013), das heißt 65% der überschüssigen, sonst verlorenen Energie, können rückverstromt werden, während 35% der Windenergie im Prozess der Umwandlung von Windenergie zu Wasserstoff und Verstromung mit Biogas verloren geht.[13] In der Fraunhofer-UMSICHT Studie „Speicher für die Energiewende“ von 2013 werden das ENERTRAG-Hybridkraftwerk und die E.ON-Wasserstoffproduktionsanlage – beide in Brandenburg – jedoch als Forschungsprojekte in einer frühen Entwicklungsphase beschrieben. Insbesondere die Weiterentwicklung der Elektrolyse erfordere weitere Forschung. Für eine Marktetablierung müsse der Gesamtwirkungsgrad erhöht und die Erzeugungskosten für Wasserstoff gesenkt werden (Rundel u. a. 2013).
Nach acht Monaten Betrieb berichtet Ingenieur Jörg Müller von positiven Erfahrungen: Der Energieverlust bei der Wasserstofferzeugung ist gering (80% Wirkungsgrad) und Wasserstoff ist ein geeignetes Speichermedium für wind-arme Zeiten von bis zu 2-3 Wochen (Gith 2012).Die Anlage ist in der Lage, eine vorgegebene Leistung exakt einzuhalten. Damit kann die ENERTRAG nachweisen, dass Systemstabilität durch EE möglich ist. Die für die Marktetablierung wichtige Kosteneffizienz bei der Rückverstromung spielte im Forschungsprojekt eine untergeordnete Rolle. Ein Abschlussbericht 2013 an die Auftraggeber schließt das Forschungsprojekt ab. ENERTRAG kündigt den Bau von weiteren drei Wasserstoff-Hybridkraftwerken in Brandenburg und Schleswig-Holstein an (Trends der Zukunft 2011; Wagner 2011).

[13] Größere Verbundkraftwerke, bei denen sich die Wärmenutzung im nächsten Ort lohnt, weisen allerdings über 80% Wirkungsgrad auf (Döring 2017, mündlich).

Abbildung 20: Hybridkraftwerk Prenzlau



Quelle: Hanno Böck

Abbildung 21: Elektrolyseanlage im Hybridkraftwerk



Quelle: Hanno Böck

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Anfängliche, erfolgreiche Forschungsphase zur Grundlastfähigkeit: Im Gegenzug zu ihren finanziellen Investitionen erhalten die Geldgeber Forschungsberichte unter anderem zur Grundlastfähigkeit und anderen Konzepten in der ersten Laufzeit des Kraftwerkes. Bereits durch die erfolgreiche Inbetriebnahme des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes bestätigt die ENERTRAG seinen Auftraggebern (und der europäischen Energiebranche), dass EE grundlastfähig und regelbar sind. Das Forschungsprojekt kann somit erfolgreich abgeschlossen werden. Es wird weiterer technischer und ökonomischer F&E-Bedarf gesehen:
  - Optimierung der Elektrolyse im Multimegawattbereich/des Stromspitzenmanagement,
  - Schnellregelbarkeit und Standby-Zustand,
  - Systemintegration und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit,
  - Analysen zur Einspeisung von 5% Wasserstoff ins Erdgassystem (ENERTRAG 2013).
- Verzögerte Inbetriebnahme durch Genehmigungsverfahren: Umfangreiche deutsche Gesetze und Normen verzögern den Genehmigungsprozess. Da die Anlage rechtliches Neuland betritt, muss ENERTRAG sich umfangreich mit Genehmigungsfragen auseinander setzen.
- Vergleichsweise geringe Installationskosten für ENERTRAG: Das Unternehmen trägt die Infrastrukturkosten und schließt das Hybridkraftwerk an sein Einspeisenetz an (was den Strom direkt ins europäische Stromnetz führt), führt die Wärme in ein Prenzlauer Wohngebiet und speichert den Wasserstoff in drei überirdische Tanks. Die Kosten für ENERTRAG sind im Vergleich zu den Gesamtkosten des Hybridkraftwerkes gering (EUR 2 Mio. von EUR 21 Mio.) (ENERTRAG 2013). Der größte Investitionsanteil kommt aus Fördermitteln der EU, des Bundes und des Land Brandenburgs. Die Juniorpartner Deutsche Bahn, TOTAL und Vattenfall beteiligen sich mit 1,5 Mio. EUR.
- EEG vergütet Windenergie: Der Großteil der erzeugten elektrischen Energie geht ins öffentliche Netz und wird entsprechend EEG 2012 vergütet (Döring 2017, mündlich). Das fördert das Einkommen der Anlage, jedoch wird die Rückverstromung (und damit die Kopplung) nicht speziell gefördert.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Rechtliches Neuland erschließen: ENERTRAG muss sich rechtlich einarbeiten und den Umgang mit Behörden lernen um die Anlage letztlich in Betrieb nehmen zu können.
- Verankerung der Innovation durch das Testen, Gelingen und die Berichterstattung. Die erfolgreiche Inbetriebnahme wird dazu verwendet, die Tragfähigkeit der Technik zu zeigen. Das Forschungsvorhaben wurde durch einen Abschlussberichtabgeschlossen, der weitere technische Optimierung nahe legt.

2.7 Entwicklungsmoment #7: Start der Lieferung von Wasserstoff-Treibstoff (2011)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Steigender Bedarf nach Wasserstoff-Treibstoff führt zu ersten Kooperationen mit Abnehmern. TOTAL und ENERTRAG schließen, unabhängig von der Juniorpartnerschaft, einen Liefervertrag für Wasserstoff-Treibstoff ab. Dieser wird vom Hybridkraftwerk an eine Berliner Tankstelle geliefert. Im Rahmen des von der Bundesregierung geförderten Wasserstoffprojekts CEP (Clean Energy Partnership) werden im ersten Jahr 50 Brennstoffzellenautos und 2012 rund 100 Fahrzeuge durch Berlin fahren. Das CEP, ein Zusammenschluss von Politik und branchenübergreifenden Unternehmen für „Mobilität im Zeitalter des Klimaschutzes“ wurde 2008 vom Bundesverkehrsministerium initiiert um Wasserstoff-Treibstoff zu erproben (CEP 2017).Damit ist erstmalig Wind-Wasserstoff an einer deutschen Tankstelle verfügbar.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Technische Nischenentwicklung zum Treibstoff Wasserstoff: ENERTRAG plant von Beginn der Ideenentwicklung mit dem wenig erschlossen Zukunftsmarkt des Wasserstoff-Treibstoff. Prognosen sprechen von serienreifen Wasserstofffahrzeugen ab 2009. Im Verlauf der technischen Entwicklung des Kraftwerkes versprechen Prognosen für den 500-kW-Elektrolyseur bis über 100.000 Liter „Benzin“ (ENERTRAG 2008). Vorteile von H_2- gegenüber Elektro-Autos sind die Schnelladefähigkeit und die ab 1 Million Autos geringeren Kosten für die H_2-Infrastruktur (Döring 2017, mündlich).
- Hohe Betriebskosten der Rückverstromung von Wasserstoff-Treibstoff: Strom aus rückverstromten Wasserstoff wird nicht besonders vergütet und ist aufgrund der Umwandlungsverluste (da H_2 getrocknet, gespeichert und rückverstrom werden muss) und damit hohen Betriebskosten unrentabel. Als Forschungsprojekt ging es beim Hybridkraftwerk vielmehr darum die Möglichkeit der Rückverstromung aufzuzeigen.
- Steigender Bedarf nach H_2-Treibstoff durch Forschungsförderung: Zusammenschluss von Industrie und Politik finanziert Brennstoffzellenautos in Berlin und stellt somit H_2-Treibstoff-Nachfrage her
- Endkundenexpertise und Pioniergeist bei TOTAL: Als Betreiber von Tankstellen ist TOTAL an alternativen Treibstoffen interessiert.
- EU erkennt Wasserstoff als fortschrittlichen Bio-Treibstoff an: Die neue EU-Richtlinie über die Qualität von Otto- und Diesel-Treibstoffen und zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen erkennt die über Power-to-Gas erzeugten erneuerbaren Treibstoffe Wasserstoff und Methan an. Die Umsetzung im Bundesimmissionsschutzgesetz und damit Anerkennung als Bio-Treibstoff im deutschen Recht steht jedoch noch aus (dena 2017).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Scheitern bei Versuch der Treibstoff-Direktvermarktung: ENERTRAG versucht auch eine eigene H_2-Tankstelle in Schönefeld zu bauen um den Absatz von

Wasserstoff-Treibstoff zu fördern, gewinnt aber die Ausschreibung nicht (Döring 2017, mündlich). Die Kooperation mit TOTAL bietet einen alternativen Absatzweg.

- Nutzung des bestehenden Netzwerkes: TOTAL ist bereits Partner bei der Forschung am Hybridkraftwerk und erhält von der ENERTRAG einen Liefervertrag für H_2-Treibstoff.
- CEP (Clean Energy Partnership) erprobt klimafreundlichen Wasserstoff-Treibstoff: Dafür organisiert und finanziert der Zusammenschluss von Politik und Unternehmen den Betrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen, die H_2-Treibstoff tanken und damit eine Nachfrage generieren. Mit dem CEP möchten Bundesregierung und 20 Industriepartner die Forschung und Entwicklung des erneuerbaren Treibstoffs Wasserstoff und dessen Marktetablierung fördern. Bisher fehlt eine Infrastruktur für Wasserstoff-Tankstellen, Wasserstofffahrzeuge sollen leistungsfähiger und schneller betankbar werden und die Produktion von nachhaltig produziertem Wasserstoff soll unterstützt werden (CEP 2017).

2.8 Entwicklungsmoment #8: Windgas-Einspeisung ins Erdgasnetz ermöglicht Rentabilität (Ende 2014)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Nach Abschluss des Forschungsprojektes richtet ENERTRAG seine Aufmerksamkeit auf alternative Abnehmer von Wasserstoff, denn bisher ist die Nachfrage danach gering (WDR 2016). Ende 2014 schließt ENERTRAG einen Abnahmevertrag mit Greenpeace Energy und speist Wasserstoff als „Windgas“ins nationale Erdgasnetz ein. In 2015 und 2016 sollen rund 800 Megawattstunden für die Gaskunden von Greenpeace Energy eingespeist werden, in 2017 und 2018 soll die eingespeiste Menge auf ungefähr eine Gigawattstunde steigen (Greenpeace Energy 2014). Das Gasnetz dient als Energietransportleitung und -speicher. ENERTRAG kann durch rechtliche und technische Grenzen nicht seinen kompletten H_2-Bestand einspeisen. Laut ENERTRAG-Vorstandschef Jörg Müller lässt der Windgas-Verkauf das Hybridkraftwerk jedoch kostendeckend arbeiten (WDR 2016).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Geringe Nachfrage nach Wasserstoff-Treibstoff: Die Nähe an die Hauptstadt mit ihrer neuen Multi-Energie-Tankstelle bietet der Nischeninnovation einen regionalen Abnehmer. Bisher fehlt jedoch die Nachfrage, da Autos mit Brennstoffzellen noch in der Entwicklungsphase und derzeit hochpreisig sind (WDR 2016). Durch den fehlenden technischen Durchbruch, ist die Wirtschaftlichkeit mit Wasserstoff-Treibstoff bisher gering.
- Erdgasnetz als Wasserstoffspeicher: Das Erdgasnetz bietet sich für Speicherung und Transport von Wasserstoff als Windgas, auch über nationale Grenzen hinweg in ganz Europa, an und ist ein umfangreicher saisonaler Speicher.

- Kooperative Erdgasnetzbetreiber: Ontras Gastransport GmbH unterstützt ENERTRAG beim Anschluss ans Erdgasnetz. Ontras ist dazu verpflichtet, zeigt jedoch hohe Motivation und Pioniergeist für grünen Wasserstoff im Erdgasnetz.
- Beimischungsgrenzen durch nicht-H_2-zertifizierte Erdgasautotanks: Dem Erdgas im nationalen Gasnetz von Ontras dürfen max. 2% Wasserstoff zugespeist werden (ENERTRAG und Greenpeace Energy 2014). Diese Limitierung kann nicht angehoben werden, weil Erdgastankstellen an den Erdgaspipelines angebunden sind und die Tanks von Erdgasfahrzeugen nicht Wasserstoff-zertifiziert sind und nur 2% Wasserstoffanteil zulassen. Dies limitiert die Wasserstoffeinspeisung für ENERTRAG, welche 5-10% fordert (Döring 2017; mündlich).
- Nachfrage im Gas-Kundennetz von Greenpeace Energy eG: Der alternative Energieversorger Greenpeace Energy nutzt sein bestehendes Kundennetzwerk für die Ökostromversorgung (2011: 110.000 Kunden) und bietet ENERTRAG einen Absatzmarkt für alternatives Gas (2014: 8.000 proWindgas-Kunden). Der proWindgas Tarif ist der erste Gastarif in Deutschland, der die Umwandlung von Windstrom in Wasserstoff fördert (ENERTRAG und Greenpeace Energy 2014).
- Produktmix des Hybridkraftwerkes (Wärme, Strom und Treibstoff): Bietet mehrere Absatzwege und diversifizierte Einkommensquellen, verteilt damit die hohen Re-Investitionsrisiken auf mehrere Produkte und erhöht die Rentabilitätschancen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Greenpeace Energy fördert Windgas und kooperiert mit ENERTRAG: Energiegenossenschaft diskutiert jährlich ihre Ausrichtung auf einer Vertretersammlung, auch die Neuausrichtung zu Windgas wird beschlossen und ab 2011 über einen Windgas-Fördertarif subventioniert. Daraufhin schließt die Genossenschaft einen Abnahmevertrag mit ENERTRAG ab.
- Ontras unterstützt den Windgas-Anschluss: Ontras ist selbst am Anschluss von Wasserstoff ans Erdgasnetz interessiert, treibt es voran und unterstützt den Anschluss des Hybridkraftwerkes an die örtliche Erdgaspipeline. Ontras beendet den Bau 2014, womit ENERTRAG ans Erdgasnetz gehen kann.
- Strategische Planung zur Wirtschaftlichkeit: Um das Kraftwerk wirtschaftlich zu betreiben setzt ENERTRAG anfängliche Überlegungen und Planungen zur Erdgaseinspeisung um und erweitert den Gasmix, wodurch eine Anbindung ans bestehende System (Gasnetz) stattfindet.

2.9 Heutiger Stand: Hybridkraftwerk liefert H_2-Treibstoff und Windgas

Beschreibung des heutigen Stands der Infrastrukturkopplung:
Heute wird das Hybridkraftwerk von ENERTRAG „Verbundkraftwerk“ genannt um auf die Verbindung von Erzeugung-, Netz- und Speicherbetrieb zu verweisen. Aktuell liefert das Kraftwerk Wasserstoff an die TOTAL-Tankstelle in Berlin und speist für Greenpeace Energy Wasserstoff ins Erdgasnetzt ein. Das Kraftwerk arbeitet kostendeckend durch den Windgas-

Verkauf ins Erdgasnetz (WDR 2016) und ENERTRAG ist aktiv involviert an den Entwicklungen in der Windgas/Wasserstoffwirtschaft. Die im Forschungsprojekt nachgewiesene Rückverstromungsoption ist heute für ENERTRAG in den Hintergrund gerückt, da die Rückverstromung nicht rentabel ist und Wasserstoff durch die Entwicklungen im Mobilität- und Gassystem profitablere Absatzchancen bietet.
Mittlerweile sind Technologien zur Wasserstoffproduktion und -speicherung bekannter unter dem Namen „Power-to-Gas“. In Deutschland speisen acht Power-to-Gas Anlagen Wasserstoff ins Erdgasnetz ein, neun Anlagen produzieren Wasserstoff-Treibstoff und sechs Anlagen verstromen Wasserstoff (dena 2017).
Politische Forderungen nach besseren EE-Speichersystemen bestehen weiterhin, denn die Unbeständigkeit der EE durch ihre Abhängigkeit vom Wetter gilt als eine der größten Herausforderung der Energiewende (Bundesregierung 2016). Aktuell fehlt jedoch eine Vereinheitlichung des Rechtsrahmens, was die Entwicklung der Technologie erschwert. Das EEG 2012 nimmt „Speichergas“ erstmals auf. EEG 2017 definiert es als "jedes Gas, das keine erneuerbare Energie ist, aber zum Zweck der Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien ausschließlich unter Einsatz von Strom aus EE erzeugt wird“(EEG 2017 §3(42)). Im Energiewirtschaftsgesetz (§ 3 Nr. 10c EnWG) wird es als Biogas definiert.
Der Bau oder die Planung weiterer Wasserstoff-Hybridkraftwerke durch die ENERTRAG konnte nicht aufgezeigt werden. Eine weitere Ausrichtung im Bereich der Gaswirtschaft ist geplant.

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- EEG vernachlässigt EE-Speicher und Volllaststundenbetrachtung: Das novellierte EEG setzt keine Anreize für die Speicherung von Strom, sondern fördert Strom vielmehr auch wenn er nicht gebraucht wird (die Härtefallregelung kompensiert die Abregelung (Runterschaltung) von EE-Anlagen bei Netzengpässen) und streicht die Förderung neuer Anlagen für ein Jahr, wenn Stromspitzen nicht ins Netz eingespeist werden. Damit stellt es sich gegen eine Vollaststundenbetrachtung und hemmt den Ausbau ähnlicher Anlagen wie dem Hybridkraftwerk.
- Privilegierte Nutzung von Strom auf Experimentierräume beschränkt: Den überschüssigen Strom für andere Bereiche wie die Wasserstoffproduktion zu nutzen (privilegierte Nutzung), ist in Deutschland nur in Experimentierräumen erlaubt, wenn die Anlagen ansonsten abgeregelt werden müssten. Diese Experimentierklausel ist zeitlich befristet (dena 2017).

Der heutige Stand wird von den folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Aufklärungs- und Lobbyarbeit durch ENERTRAG: Seit November 2012 engagiert sich ENERTRAG auf der Strategieplattform Power-to-Gas (der halbstaatlichen dena) um über die Vorteile und Potentiale der Technologie aufzuklären. Darüber hinaus fördert ENERTRAG das Thema Windwasserstoff in der von ENERTRAG mit gegründeten Initiative „performing energy“ (ENERTRAG 2013).

- Aktuell bemüht sich die ENERTRAG neue Geschäftsfelder im Bereich der Gaswirtschaft zu erschließen, möchte aber keine Details verraten (Döring 2017; mündlich).
- Andere Akteure wie Greenpeace Energy betreiben mittlerweile auch eine eigene Power-to-Gasanlage um den Bedarf zu decken und zeigen eine hohe, jedoch wirtschaftlich wenig attraktive Nachfrage auf.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt legt die Analyse der Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfades der Infrastrukturkopplung dar. Diese beinhalten die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während der Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind einschließlich deren unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Entwicklungspfad (3.1), sowie die Handlungen der unterschiedlichen Akteure, durch welche diese mit den Einflussfaktoren umgegangen sind (3.2). Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken

Tabelle 14: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Die Idee eines Kraftwerkes Erneuerbarer-Energien (1998)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* Unternehmerischer Pioniergeist	Unterstützend: Treibt Forschung und Entwicklung technischer Innovationen an	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Visionsentwicklung und Geschäftsphilosophie der ENERTRAG eines EE-Kraftwerkes *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Aufbau des ENERTRAG-Einspeisenetz (Bau von Windkraftanlagen und deren Vernetzung) um zentral ins bestehende Stromnetz einzuspeisen
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Technische Nischenentwicklung zu hybriden erneuerbare Energiesystemen	Unterstützend: Bietet Vielfalt technischer Standardkomponenten	
	Anreize und Regulierungen: EE-Förderung durch Stromeinspeisegesetz	Unterstützend: Stellt finanzielle Förderung für EE bereit	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Energiewende	Unterstützend: Zeigt die Notwendigkeit einer Kopplung von EE und Speichern auf	
#2: Wasserstoff als geeignetes Speichermedium (2000)	*Lokale institutionelle Faktoren:* Bestehende Kontakte zu Universitäten	Unterstützend: Erleichtert den Forschungsprozess	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Kooperation mit Universitäten und Investition in Forschung zu Energiespeichern *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* ENERTRAG entscheidet sich dafür Wasserstoff als Energiespeicher zu nutzen
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Technische Nischenentwicklung zum Energiespeicher Wasserstoff	Unterstützend: Ermöglicht Energie Wetter-unabhängig zu speichern und ist vielseitig nutzbar (Strom, Wärme, Treibstoff, Windgas)	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Skepsis der Energiebranche	Unterstützend: Spornt unternehmerischen Pioniergeist an Hemmend: Keine Standardkomponenten	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Umfangreiches Erdgasnetz als potentieller Speicher	Unterstützend: Bietet die Möglichkeit Wasserstoff zu speichern und zu transportieren	
#3: Planung und Entwicklung eines Wasserstoff-Hybridkraftwerkes (2005–2008)	*Anreize und Regulierungen:* EEG fördert EE zunehmend	Unterstützend: Fördert EE durch Vorrangprinzip und Vergütungen	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* ENERTRAG sichert sich finanzielle Förderung durch EE-Produktion
	Anreize und Regulierungen: Speicher rechtlich unbekannt	Hemmend: Energierecht bietet keine Anreize für Speicher, sondern behindert z.T. ihre Entwicklung	*Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Es bestehen keine förderlichen Rahmenbedingungen und konkrete rechtliche Einbindung von Erneuerbaren Energiespeichern
	Lokale institutionelle Faktoren: Studie zeigt Wirtschaftspotential Brandenburgs durch Windenergieexport und Hybridkraftwerk als Lösungsoption	Unterstützend: Erhöht das Interesse Brandenburgs an EE-Lösungen	*Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Sichtbarkeit der Innovation als Modellprojekt, Lobbyarbeit durch ENERTRAG
	Anreize und Regulierungen: Landespolitische Strategien zur Förderung von EE	Unterstützend: Zeigt landespolitisches Interesse und fördert EE	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Gewinnung finanzieller Förderung von EU, Bund- und Landesebene
	Anreize und Regulierungen: Finanzielle Förderung des Pilotprojektes durch Land und Bund	Unterstützend: Stellt finanzielle Förderung zur Umsetzung der Anlage bereit	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Technische Komplexität und hoher Innovationsgrad des Elektrolyseurs	Hemmend: Erhöht Entwicklungskosten Unterstützend: Ermöglicht Förderung als Pilotprojekt	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* ENERTRAG plant und erarbeitet mit Unterstützung von Universitäten

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			einen Bauplan für den Elektrolyseur und das Hybridkraftwerk
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Förderliche EE-Einstellung am Standort Prenzlau	Unterstützend: Fördert die einfache Kooperation der ENERTRAG mit der Stadt Prenzlau	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Aufbau von langfristigen Liefer- und Kooperationsbeziehungen
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Standort mit Nähe zum ENERTRAG Hauptsitz und Windfeldern	Unterstützend: Verringert Infrastruktur- und Betriebskosten	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Integration des Kraftwerkes in unternehmerische Infrastruktur
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): ENERTRAG‘s regionales Einspeisenetz ermöglicht gebündelte Einspeisung	Unterstützend: Verringert Infrastrukturkosten und erhöht Unabhängigkeit von Netzbetreibern	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Wärme-Einspeisung in Wohngebiet mit einkommensschwachen Haushalten	Unterstützend: Erhöht die positive Wahrnehmung in der Stadt und unterstützt das lokale Umfeld	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* ENERTRAG berät sich mit der Stadt Prenzlau zum lokalen Wärmebedarf
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Effizienz durch digitale Kopplung	Unterstützend: Selbstentwickelte digitale Infrastruktur erhöht die Effizienz der Anlage	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Entwicklung unternehmenseigener Software
#4: Grundsteinlegung am Hybridkraftwerk durch Bundeskanzlerin (April 2009)	*Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen):* Zunehmend (inter)nationales Interesse an klimafreundlichen Alternativen	Unterstützend: Vergrößert die Bekanntheit der Innovation	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):* Anbindung an bundes- und landespolitischen Repräsentanten, welche die (von der Energiebranche lange skeptisch gesehene) Pionierarbeit unterstützen *Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Sichtbarkeit

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			der Innovation als Modellprojekt, Lobby- und Vernetzungsarbeit
#5: Kooperation mit etablierten Energie- und Mobilitätsunternehmen (2010)	*Lokale institutionelle Faktoren:* Benötigte Investitionsspritze für das Pilotprojekt	Unterstützend: Trägt zur Deckung der hohen Investitionskosten bei	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Netzwerkbildung mit etablierten Unternehmen, diese fördern die Entwicklung des Hybridkraftwerkes ohne Einfluss auf die Bauarbeiten (die weiter von ENERTRAG geleitet werden). *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Hohes Forschungsinteresse von Akteuren aus Wirtschaft und Politik, die Grundlastfähigkeit von EE aufzuzeigen.
	Lokale institutionelle Faktoren: Bestehende Kontakte zu Vattenfall	Unterstützend: Bestehendes kooperatives Verhältnis unterstützt weitere Kooperation	
	Sozio-kulturelle Faktoren: Motivation in zukünftige Geschäftsfelder zu investieren		
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Know-how um einzigartige industrielle Wind-Wasserstoff-Anlage	Unterstützend: Marktpotential und Interesse an Forschung und Entwicklung führt zu Juniorpartnerschaften	
	Anreize und Regulierungen: Verzögerte Inbetriebnahme durch Genehmigungsverfahren	Hemmend: Regulatives Neuland behindert den Betriebsstart	*Herausforderung der Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Aufwendiges Einarbeiten in rechtliches Neuland um die Genehmigung für den Betrieb der Anlage zu erreichen
#6: Fertigstellung und Inbetriebnahme des Hybridkraftwerkes (2011-2013)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Anfängliche Forschungsphase zur Grundlastfähigkeit	Unterstützend: Beweist die Regelbarkeit EE	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Verankerung der Innovation durch das Testen, Gelingen und die Berichterstattung

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Vergleichsweise geringe Investitionskosten für ENERTRAG	Unterstützend: Vorhandene Infrastruktur hält die Investitionskosten für ENERTRAG gering	*(Herausforderung) der Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Anfänglich fehlen die Anreize für eine alternative Vermarktung, da das Hybridkraftwerk zunächst zwei Jahre im Forschungsmodus läuft
	Anreize und Regulierungen: EEG vergütet (nur) Windenergie	Unterstützend: Fördert das Einkommen der Anlage Hemmend: Rückverstromung (und damit die Kopplung) wird nicht speziell gefördert	*(Herausforderung) der Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* ENERTRAG schließt das Kraftwerk an das bestehende Einspeisenetz an und erreicht EEG-Förderung für Strom aus EE, jedoch keine Förderung für die EE-Speicherung
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Endkundenexpertise und Pioniergeist bei TOTAL	Unterstützend: Fördert die Chancen der Markterschließung	*Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* ENERTRAG kooperiert mit TOTAL um den Wasserstoff-Treibstoff-Markt zu erschließen
#7: Start der Lieferung von Wasserstoff-Treibstoff (2011)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):*Planung mit H_2-Treibstoff seit der Ideenentwicklung zum Hybridkraftwerk	Unterstützend: Ermöglicht weitere Absatzpotentiale	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Alternativ-Vermarktung des Wasserstoffs als Treibstoff, Scheitern bei Versuch der Treibstoff-Direktvermarktung, Kooperation mit TOTAL und dadurch indirekt auch mit dem Wasserstoffmobilitätsnetzwerk Clean Energy Partnership, welches klimafreundliche H_2-Mobilität erprobt
	Anreize und Regulierungen: Unrentable Rückverstromung	Unterstützend: Bedingt die Suche nach rentableren Absatzwegen	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Anreize und Regulierungen: Steigender Bedarf nach H_2-Treibstoff durch Forschungsförderung	Unterstützend: Ermöglicht Absatz von Wasserstoff als Treibstoff	*Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Verkehrsministerium initiiert Partnerschaft zwischen Industrie und Politik zur Erprobung grüner Wasserstoff-Antriebe (Clean Energy Partnership)
	Anreize und Regulierungen: EU erkennt Wasserstoff als fortschrittlichen Biotreibstoff an	Unterstützend: Fördert die Anerkennung von Wasserstoff-Treibstoff Hemmend: (bisher) keine Übertragung ins deutsche Recht	
#8: Windgas-Einspeisung ins Erdgasnetz ermöglicht Rentabilität (Ende 2014)			
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Geringe Nachfrage nach Wasserstoff-Treibstoff	Unterstützend: Trägt zur Suche nach alternativen Absatzwegen bei	*(Herausforderung der) Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Strategische Planung zur Wirtschaftlichkeit und Anbindung ans bestehende Gasnetz
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Produktmix des Hybridkraftwerkes	Unterstützend: Bietet flexible Absatzmöglichkeiten	
	Anreize und Regulierungen: Beimischungsgrenzen durch nicht-H_2-zertifizierte Erdgasautotanks	Hemmend: Behindern volles Windgas-Einspeisepotential	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Nachfrage im Gas-Kundennetz von Greenpeace Energy	Unterstützend: Fördert die Nachfrage nach Windgas; neuer Absatzmarkt ermöglicht Rentabilität	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Neu-Vermarktung des Wasserstoffs als Windgas über Greenpeace Energiegenossenschaft *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):*

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			ENERTRAG kooperiert mit Greenpeace um den Windgas-Markt zu erschließen
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Erdgasnetz als Wasserstoffspeicher	Unterstützend: Bietet die Möglichkeit eines alternativen Speichers, Transportmedium und Absatzweges	*Skalen und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* Vernetzung mit Erdgasnetzbetreiber Ontras
	Institutionelle Faktoren: Kooperativer Erdgasnetzbetreiber	Unterstützend: Unterstützen den Infrastrukturausbau	*Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):* Ontras baut Infrastrukturerweiterung zum Anschluss des Hybridkraftwerkes ans Erdgasnetz
Heutiger Stand (2017)	*Anreize und Regulierungen:* Privilegierte Nutzung von Strom auf Experimentierräume beschränkt	Hemmend: Schränkt den Bau ähnlicher Anlagen ein	*Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):* Aufklärungs- und Lobbyarbeit durch ENERTRAG, Sichtbarkeit für potentielle Kunden *Skalen und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):* ENERTRAG engagiert sich auf der Strategieplattform Power-to-Gas (der halbstaatlichen dena) und in der Initiative „performing energy“ um Wissen zu Windwasserstoff zu bündeln
	Anreize und Regulierungen: EEG vernachlässigt EE-Speicher und Volllaststundenbetrachtung	Hemmend: Behindert den Bau ähnlicher Anlagen	*Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen* (Orchestrierung): Finanzierungsgrundlage für neue Innovationen in der Wasserstoffwirtschaft schaffen

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Entwicklungspfad kamen unterschiedliche Entwicklungsfaktoren zum Tragen. Diese wirkten unterstützend und/oder hemmend auf die einzelnen Entwicklungsmomente. Grundsätzlich konnten wir hauptsächlich, insbesondere zu Beginn des Entwicklungspfades, unterstützende Faktoren feststellen.
Auffällig entlang des gesamten Entwicklungspfades des Kraftwerkes ist das Interesse verschiedener Akteure innovative erneuerbare Energieträger zu fördern und dabei Vorreiter zu sein (*sozio-kulturelle Faktoren)* im Kontext der Energiewende (*gesellschaftlicher Metafaktor*). Ursprünglich trieb der unternehmerische Pioniergeist ENERTRAG‘s die Ideenentwicklung, Planung und Umsetzung des Kraftwerkes voran. Auch am geplanten Standort des Kraftwerkes in der Stadt Prenzlau war die Einstellung, EE zu fördern sehr positiv. Schwierig gestaltete sich die Nachfrage nach dem relativ hochpreisigen Wasserstoff: auch wenn etablierte Tankstellenbetreiber (TOTAL) Pioniergeist zeigten, blieb die Nachfrage nach Wasserstoff-Treibstoff sehr gering. Erst durch andere Nischenakteure (Energiegenossenschaft Greenpeace Energy) mit Bereitschaft höhere Preise für „grünes“ Erdgas zu bezahlen und es zu fördern, wurde Windgas nachgefragt und das Wasserstoff-Kraftwerk fand einen rentablen Absatzmarkt. Von Beginn an konnten Standardkomponenten des Nischenbereiches EE (Windkraftanlagen, BHKW, Biogasanlage) genutzt werden. Die Entwicklung des Elektrolyseurs zur Produktion des Energiespeichers Wasserstoff war komplizierter, da diese Technologie nicht im industriellen Maße vorhanden war. Dies brachte jedoch die Anerkennung als Pilotprojekt und trug somit maßgeblich zu der Finanzierung des Kraftwerkes bei. Mit Wasserstoff wurde ein vielseitiger Energieträger gewählt, was die Absatzmöglichkeiten erhöhte und neue Geschäftsfelder abdeckte. Dabei konnte das gut ausgebaute Erdgasnetz genutzt werden.
Die *technischen Entwicklungen entlang der lokalen Angebotsseite* wirkte größtenteils unterstützend auf den Entwicklungspfad. Das Vorhandensein von notwendigen Infrastrukturen war maßgeblich entscheidend für die Ideenentwicklung (Einspeisenetz ENERTRAG) und den ökonomischen Erfolg (Erdgasnetz) des Hybridkraftwerkes. ENERTRAG baute Fachkompetenz bei der digitalen Vernetzung von Energiesystemen und sein technisches Wissen zu Wasserstoff aus (was besonders förderlich für zukünftige Entwicklung im Gassektor sein kann). Durch die hohe technische Eigenständigkeit und Erstinvestition in Forschung und Entwicklung von grüner Wasserstoff-Technologie erreichte die ENERTRAG hohe Fachkompetenz und eine einzigartige Anlage in einem wenig erschlossenen Markt. Diese Alleinstellungsmerkmale führten zu finanzieller Unterstützung sowie Abnahmeverträgen in einem bis dato unerschlossenen Markt. Als innovatives Forschungsprojekt konnte der Bau und die Inbetriebnahme des Kraftwerkes durch öffentliche Mittel der regionalen Entwicklung finanziert werden.
Zu Beginn wirkten *Anreize und Regulierungen* durch das EEG als Förderinstrument, die landespolitischen EE-Strategien und die finanzielle Förderung als Forschungsprojekt durch Bund, Land und EU maßgeblich förderlich für die Entwicklung und den Bau des Kraftwerkes. ENERTRAG trug vergleichsweise geringe Investitionskosten. Im Entwicklungsverlauf wirkten bestehende Gesetze jedoch zunehmend hinderlich. Das EEG differenzierte zunehmend die Förderung von EE, unterstützt dabei jedoch nicht Energiespeicher und die Rückverstromung. Erneuerbare Speicher und Power-to-Gas Anlagen sind rechtliches Neuland, weshalb das

Hybridkraftwerk erheblichen Genehmigungsaufwand unterlag. Bis heute ist die privilegierte Nutzung von Strom auf Experimentierräume beschränkt (Nicht-Einspeisung führt zu Strafen).Während sich gesetzliche Rahmenbedingungen im Bereich der H_2-Treibstoffe etwas förderlich entwickelten (wobei jedoch der Absatzmarkt fehlte), sind im Bereich der Windgaseinspeisung die Rahmenbedingungen hinderlich (Einspeisungsbegrenzung), jedoch ein rentabler Absatzmarkt vorhanden. Neue Geschäftsmodelle im Bereich Windgas und H_2-Treibstoff entwickeln sich aktuell durch Kooperationensmodelle (siehe Abschnitt 3.1 Transformative Handlungen und 3.2 Orchestrierungs-Handlungen).
Lokale institutionelle Faktoren waren förderlich insofern, dass die universitäre Forschung das Wirtschaftspotential Brandenburgs durch Windenergieexport aufzeigte und das Hybridkraftwerk als Lösungsoption analysierte. Weiterhin förderlich waren bestehende Marktstrukturen für EE, sowie bestehende Kontakte zu Universitäten und Vattenfall insbesondere zu Beginn der Entwicklung und Umsetzung des Hybridkraftwerkes. Die Unterstützung von Universitäten half bei der technischen Entwicklung, während die kooperative Erfahrung mit Vattenfall beim Netzanschluss des „Kraftwerks Uckermarks“ förderlich für weitere Kooperation und Investitionen in das Hybridkraftwerk war. Um die hohen (und zum Ende hin fehlenden) Investitionskosten zu decken, vernetzte sich ENERTRAG mit etablierten Unternehmen aus der Energie- und Verkehrsbranche, die an den innovativen Forschungsergebnissen interessiert waren. Kooperative Erdgasnetzbetreiber unterstützten den Netzanschluss zur Wasserstoffeinspeisung ins Erdgasnetz.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt analysiert die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung bestimmt haben und weiterhin bestimmen. Es wird aufgezeigt, wie Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind, um die Kopplung voranzutreiben. Im Fokus stehen die relevanten Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen des Entwicklungspfades und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen der Akteure innerhalb der Entwicklungsmomente und in Bezug auf die Einflussfaktoren.
Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die an dem Entwicklungspfad beteiligten Akteure und deren Rollen. Zentraler Akteure war und ist die ENERTRAG AG, die das Wasserstoff-Hybridkraftwerk von der Leitidee bis zur heutigen Betreibung der Anlage vorantrieb. Zu Beginn der Forschung und Entwicklung sowie Planung der Anlage wurde das Pilotprojekt als Forschungsprojekt von Universitäten inhaltlich und von EU, Bund und Land Brandenburg finanziell unterstützt. Mit Abschluss der Forschung rückte der effiziente Betrieb des Kraftwerkes und damit der Markt für Treibstoff (TOTAL Deutschland GmbH) und Windgas (Greenpeace Energy eG) in den Vordergrund.

Tabelle 15: Akteure und ihre Rollen im Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
ENERTRAG AG	Multi-level (regional bis europäisch)	Markt	Initiierung, Forschung & Entwicklung, Planung,

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
			Bauherrschaft, Finanzierung Infrastruktur,Forschungsgeldakquise,Verwaltung, Leitung, Betrieb, Instandhaltung
Stadt Prenzlau	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene)	Ort der Umsetzung; Hybridkraftwerk entspricht dem städtischen Leitbild „Stadt der erneuerbarer Energien“; kooperative Stadtverwaltung bei der Ansiedlung und Abnahme von thermischer Energie (Wärme) für ein Wohngebiet
FH Stralsund	Lokal	Öffentliche Hand (Landesebene)	Unterstützt Forschung & Entwicklung
TU Braunschweig	Lokal	Öffentliche Hand (Landesebene)	Unterstützt Forschung & Entwicklung
Vattenfall GmbH	Multi-level (regional bis global)	Markt	Eigentümer des zentralen ostdeutschen Stromfernleitungsnetzes (kooperative bei Anschluss des ENERTRAG-Einspeisenetz), Projektförderer (Finanzierung, Wissensaustausch)
Deutsche Bahn AG	Multi-level (regional bis national)	Markt	Projektförderer (Finanzierung, Wissensaustausch)
TOTALDeutschland GmbH	Multi-level (regional bis global)	Markt	Projektförderer (Finanzierung, Wissensaustausch), Abnehmer Treibstoff
Ontras Gastransport GmbH	Multi-level (regional bis europäisch)	Markt	Fernleitungsnetzbetreiber, Windgas-Anschluss (Finanzierung, Bau)
Greenpeace Energy eG	National	Markt-Zivilgesellschaft	Abnehmer Windgas
Kunden (Strom)	Europa	Markt	Abnehmer des Stroms

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Kunden (Wärme)	Lokal	Markt	Abnehmer Wärme
Land Brandenburg	Regional	Öffentliche Hand (Landesebene)	Projektförderer und Auftraggeber Forschungsprojekt (Finanzierung); Gesetzgeber
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Projektförderer und Auftraggeber Forschungsprojekt (Finanzierung); Gesetzgeber
Bundesverkehrsministerium	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Initiator und Koordinator Clean Energy Partnership
Clean Energy Partnership	National	Partnerschaft zwischen öffentlicher Hand und Industrie	Abnehmer von Wasserstoff-Treibstoff
Bundesregierung	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Gesetzgeber
Europäische Gemeinschaft	Supranational	Öffentliche Hand (internationale Ebene)	Projektförderer und Auftraggeber Forschungsprojekt (Finanzierung); Gesetzgeber

3.2.1 Transformative Handlungen

Die Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung, die Anbindung der Innovation an den Kontext und die Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation bilden Transformative Handlungen ab. Durch sie haben – insbesondere die ENERTRAG –Akteure das Wasserstoff-Hybridkraftwerk sowohl initiiert, entwickelt und umgesetzt, und es in institutionellen und physischen Strukturen verankert.

Zur *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung* trug maßgeblich die Entwicklung einer Vision und Geschäftsphilosophie der ENERTRAG, ein Kraftwerk Erneuerbarer Energien zu schaffen, bei. Ausgestattet mit der Aufgabe dieses Kraftwerk zu bauen, begannen die Mitarbeiter der ENERTRAG ihre Windfelder zu vernetzen und ein eigenes Stromeinspeisenetz aufzubauen. Pioniergeist und gesetzliche Förderungen für EE unterstützten die Handlungen. Um einen geeigneten saisonalen Speicher zu finden, kooperierte das Unternehmen mit Universitäten und baute seine ForschungsHandlungen zum zukunftsfähigen Energiespeicher Wasserstoff aus. Mit deren Unterstützung und öffentlicher finanzieller Förderung, plant und erarbeitet ENERTRAG den Elektrolyseur und damit die innovative Grundlage für das Wasserstoff-Hybridkraftwerk. Durch die Positionierung als Pilotprojekt konnten öffentliche Fördermittel erschlossen werden, was die Umsetzung der wirtschaftlich weniger rentablen

Innovation ermöglichte. Um die Anlage effizient betreiben zu können, entwickelt das Unternehmen eine eigene Software zur Kopplung aller Systemelemente. Kooperationen mit Greenpeace Energy und TOTAL ermöglichten die Bildung von neuen Nischen im Bereich der Gas- und Treibstoffversorgung. Der Entwicklungspfad des Hybridkraftwerkes ist von einer stetigen Weiterentwicklung durch die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten von Wasserstoff geprägt – vom Beginn als ein Forschungsprojekt zur Rückverstromung von EE, zur Nutzung als Treibstoff bis hin zur rentablen Windgas-Vermarktung.
Die *Sichtbarkeit der Innovation*wird besonders gestärkt durch die Forschungsarbeit mit Universitäten und wissenschaftliche Studien, die das Hybridkraftwerk in der öffentlichen und politischen Wahrnehmung als innovatives Pilotprojekt stärken, was die finanzielle Förderung ermöglicht. Damit kann der technisch komplexe Elektrolyseur entwickelt werden. ENERTRAG versucht durch Lobby- und Aufklärungsarbeit erneuerbare Energiespeicher, die Vollastbetrachtung von Anlagen und die privilegierte Nutzung von Strom zu fördern. Durch die nahe Anbindung des Kraftwerkes an politische Interessen zur Energiewende unterstützten repräsentative landespolitische und bei der Grundsteinlegung auch bundespolitische Vertreter (Bundeskanzlerin Angela Merkel) das Vorhaben, wodurch die mediale Aufmerksamkeit und damit Sichtbarkeit stieg. Es war jedoch schwierig Kunden zu finden, da Wasserstoff im Vergleich zu anderen Energieträgern hochpreisig ist. Nach dem Einstieg in den Mobilitätsektor gelang der Einstieg in den Gassektor, wo weniger Alternativen zu konventioneller Energie vorliegen.
Das Hybridkraft wurde durch verschiedene Handlungen *an den Kontext angebunden*. Es wurde insbesondere in die unternehmenseigene Infrastruktur integriert, wodurch direkt und kosteneffizient ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Der erfolgreiche Betrieb der Anlage erfüllt den Forschungsauftrag und verankert die Innovation durch das Testen, Gelingen und die Berichterstattung und trug damit zu ihrer weiteren Entwicklung und Expertise hinsichtlich Infrastrukturkopplungen und Wasserstoffwirtschaft bei. Das Lernen und Reflektieren war nicht nur technischer, sondern auch strategischer Art: Nach Abschluss der Forschungsphase, orientiert sich ENERTRAG neu, die Kopplung soll nicht der Rückverstromung, sondern dem Treibstoff-Markt zugutekommen. Die Vermarktung rückt in den Vordergrund. Dafür kooperiert das Unternehmen mit dem Endkundenexperten TOTAL, stößt aber auf einen sehr wenig erschlossenen Markt. Eine erneute Neuorientierung bringt die gewünschte Rentabilität: der Windgas-Markt fragt Wasserstoff nach und Nischenakteure sind bereit einen höheren Preis für grünes Windgas zu zahlen. Maßgeblich ist die Anbindung des Kraftwerkes an die Erdgasinfrastruktur, die durch das kooperative Verhalten des Betreibers, die relativ hohe Nachfrage und einfache Anbindung einen Nischenmarkt erschließt und das Kraftwerk in die Rentabilität führt. Das Kraftwerk wurde auch institutionell eingebettet. Zunächst mussten umfangreiche rechtliche Hürden überwunden werden. Der Aufbau von langfristigen Liefer- und Kooperationsbeziehungen sichern den Windgas-Markt. Herausforderung bleibt der rechtliche Kontext, der Power-to-Gas-Anlagen nicht fördert. Die Power-to-Gas-Technologie steht jedoch weiterhin vor rechtlichem Neuland und wird von Energiepolitischen Instrumenten und Gesetzen eher behindert. Die neue Vermarktung als Treibstoff und Windgas bringt erstmalig grünen Wasserstoff auf diese Marktfelder. Während es dem H_2-Treibstoff-Markt an Nachfragern mangelt, ist der Windgasmarkt durch engagierte Energiegenossenschaft und einfache

Infrastrukturanbindung schnell erschlossen, wird jedoch rechtlich durch Normung von Erdgasautotanks (!) behindert. Die EEG-Förderung für Strom aus EE, jedoch fehlende Förderung für die EE-Speicherung stellte eine weitere Herausforderung der Anbindung der Innovation an Kontext dar.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen zeigen sich in strategischer Richtungssetzung, skalen- und ressourcenübergreifenden Meditation und dem Setzen von Rahmenbedingungen um Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren. Durch diese Handlungen wurde das Wasserstoff-Hybridkraftwerk mit den umweltpolitischen Zielen und Projekten zu Energie und Klimaschutz verknüpft, Akteure miteinander in Verbindung gebracht und politische Rahmenbedingungen für die Finanzierung der Anlage und Vermarktung der Energieträger nutzbar gemacht.
Ein wichtiger Schritt bei der *Strategischen Richtungssetzung* ist ENERTRAG‘s Entscheidung, Wasserstoff als Speichermedium stärker zu beforschen und zu entwickeln. Durch diese breitgefasste Vision eines EE-Kraftwerkes wird es innerhalb des Unternehmens möglich, dieses Geschäftsfeld zu entwickeln. Durch die Entscheidung für Wasserstoff als Speichermedium, wird ein vielseitiger Energieträger gewählt. Damit bietet das Kraftwerk diverse Produkte (Strom, Wärme, Treibstoff, Windgas) und erhöht damit die Absatzchancen. Weiterhin kann an verschiedene bundes- und landespolitische Ziele und Strategien angeschlossen werden (Energie- und Mobilitätswende). Mit der strategisch sozialen Ausrichtung, die Wärme kostengünstig an einkommensschwache Haushalte in Prenzlau zu leiten, unterstützt ENERTRAG das lokale soziale Klima, die Beziehung zur Stadt und erschließt einen direkten Absatzweg. Das Hybridkraftwerk entspricht insgesamt dem städtischen Leitbild (Prenzlau als „Stadt der erneuerbarer Energien“).
Das Hybridkraftwerk wurde durch verschiedene Netzwerke unterstützt (*skalen- und ressortübergreifenden Mediation).* Einflussreich war dabei das vom Verkehrsministerium initiierte Clean Energy Partnership zur Erforschung klimafreundlicher Mobilität, wodurch eine Nachfrage nach Wasserstoff-Treibstoff und eine Kooperation mit TOTAL zustande kam. Das Kraftwerk ist damit indirekt am CEP beteiligt. ENERTRAG engagiert sich auf der Strategieplattform Power-to-Gas (der halbstaatlichen dena) und in der Initiative „performing energy“ um Wissen zu Windwasserstoff zu bündeln und Vernetzung zu fördern. Nicht genauer bekannt ist, wie die Vernetzungs- und Akquisearbeit ENERTRAGs aussah und wie die Partnerschaften und Kooperationen mit Universitäten, Greenpeace Energy, TOTAL, der Deutschen Bahn, Vattenfall und der Stadt Prenzlau im Verlauf des Entwicklungspfades genau zustande kamen.
Die wichtigste *Setzung von Rahmenbedingungen* erfolgt durch die Gewinnung finanzieller Förderung von EU, Bund- und Landesebene, die es ENERTRAG ermöglich das Wasserstoff-Hybridkraftwerk konkret zu planen, zu bauen und in Betrieb zu nehmen. Bereits vor Planung des Hybridkraftwerkes nutzt ENERTRAG bereits die EEG-Förderung für ihre EE-Produktion. Größte Herausforderung ist das Fehlen von förderlichen Rahmenbedingungen und die konkrete rechtliche Einbindung der Kopplung. Die Power-to-Gas-Technologie steht weiterhin vor rechtlichem Neuland und wird von Energiepolitischen Instrumenten und Gesetzen eher

behindert. Bisher fehlen eine einheitliche Begriffsdefinition im Energierecht sowie Anreize für die Wasserstofftechnologie im EEG. Hinsichtlich des Windgasmarktes ist die Einspeisemenge durch Normung von Erdgasautotanks rechtlich begrenzt und erfordert wird jedoch rechtlich (!) behindert. Bezogen auf den Absatzmarkt H_2-Treibstoff fehlen bisher eine Tankstellen-Infrastruktur sowie die Marktetablierung von H_2-Autos.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Dieser Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastrukturkopplung zu einer Nachhaltigkeitstransformation beiträgt. Diese Frage ist durch die funktionalen und geographischen Systemgrenzen auf die Wärmeversorgung in Prenzlau, die Strom- und Windgas-Einspeisung ins europäische Netz sowie die regionale Treibstoffversorgung durch das Hybridkraftwerk Prenzlau begrenzt.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag des Hybridkraftwerks wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.
Die Leitidee war es ein Kraftwerk Erneuerbarer Energien zu schaffen. Damit entwickelten sie das Wasserstoff-Hybridkraftwerk, dass in der ersten Phase der Laufzeit als Forschungsprojekt die Rückverstromung und damit Regelbarkeit und bedarfsgerechte Versorgung mit Erneuerbarer Energien aufzeigen sollte. Dieses Funktionalitäts-Ziel wurde erreicht. Das System ist geeignet einen Beitrag zur (lokalen) Elektro-Energieversorgung zu leisten[14] und einen signifikanten Beitrag zur regionalen Wasserstoff-Treibstoff-Versorgung zu leisten. Durch das ENERTRAG-eigene Einspeisenetz ist die technische Komplexität der Anlage eine intern gelöste Herausforderung ohne stärkere Auswirkungen auf die lokale Elektro-Infrastruktur. Hinsichtlich grünem H_2-Treibstoff ist die technische Komplexität insofern gestiegen, als dass eine neue Infrastruktur geschaffen wurde, die dem bestehenden Tankstellensystem ähnlich ist. Hinsichtlich Windgas war die Schaffung von Infrastruktur keine besonders komplexe Herausforderung. Die Leistungsfähigkeit der Anlage wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die gute Verfügbarkeit von Standardkomponenten im Bereich Erneuerbarer Energien (Windkraftanlagen, BHKW-Biogas-Anlage) und die gute Einbindung von Wasserstoff in bestehende Infrastruktur (unternehmenseigenes Einspeisenetz, Tanks).
- Mitwirkung von Universitäten bei der Forschung und Entwicklung der Elektrolyse brachte Fachwissen ein.
- Organisatorische Anpassungen waren gering, da die ENERTRAG den Hauptakteur darstellte und bereits über ein eigenes Einspeisenetz verfügte.
- Die Möglichkeit der Rückverstromung Erneuerbarer Energien konnte nachgewiesen werden.

[14] Da das Stromnetz national ist, ist ein Beitrag zur lokalen Energieversorgung rein hypothetisch.

- Langfristig Optimierungsbedarf bei Einspeisungsgraden zur Speicherung des Wasserstoffs im Erdgasnetz.

Nach dem Aufzeigen der Funktionalität, sollte auch die ökonomische Effizienz, die zu Beginn des Forschungsprojektes nicht im Vordergrund stand, erreicht werden. Das Wirtschaftsunternehmen erschloss im Folgenden durch Infrastrukturerweiterungen im Erdgasnetz einen umfangreicheren Speicher (neue Kopplung) und einen neuen Nischenmarkt (grüner Erdgasmarkt), wodurch die Anlage sich rentiert. Die soziale und ökonomische Verträglichkeit der Anlage wurde durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die Entwicklung und Installation der Anlage ist verhältnismäßig teuer. Insbesondere hinsichtlich der hohen Betriebskosten der Rückverstromung herrscht Verbesserungsbedarf.
- Durch die (anfangs zweitrangigen Ziele) Einspeisung ins Erdgasnetz rentiert sich das Model ökonomisch und schafft Gesamtwirtschaftlichkeit.
- Die Nachfrage nach Wasserstoff-Treibstoff ist noch gering.
- Der Erdgasmarkt war bisher nicht von EE erschlossen und die Nachfrage und Bereitschaft einer Energiegenossenschaft (im Vergleich zu Erdgas) höhere Preise für die Förderung von Windgas zu zahlen (obwohl nur bilanziell, da das Windgas im europäischen Netz landet) ermöglicht einen Rentabilität der Anlage.
- Förderung von Windenergie durch das EEG, insbesondere aber die EU, Bundes- und Landesmittel förderten die Inbetriebnahme des Modellprojektes.
- Für die Steigerung des Wasserstoff-Treibstoff-Absatz bedarf es weitere Anreize für Forschung, Entwicklung und Kauf von Brennstoffzellenfahrzeugen und H_2-Autos. Dies würde Folgeinvestitionen zur Infrastrukturentwicklung von H_2-Tankstellen nötig machen.

Die Anlage hat positive Beiträge auf Ressourcen und Umwelt. Die Speicherung und Nutzung überschüssiger Windenergie trägt an Ressourceneffizienz bei, da sie als Energiequelle sonst verloren geht. Die dabei entstehende Wärme ist vergleichsweise gering, wird aber lokal in kalten Jahreszeiten genutzt und reduziert geringfügig CO_2-Emissionen für Raumheizung und Wassererwärmung, da keine Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas nötig ist. Negativ wirkt sich die Kopplung im Hinblick auf die deutlich erhöhte Flächeninanspruchnahme durch Biogas aus. Der Beitrag an Ressourcenschonung und -effizienz wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Nutzung der Standardkomponente Biogasanlage wirkt negativ auf Ressourcenschonung.
- Rückverstromung ist ineffizient, weswegen die Windgasentwicklung vorangetrieben wurde, was fossile Ressourcen (Erdgas) schont.

Die bedarfsgerechte Versorgung mit Strom, Wärme, Treibstoff und Windgas kann über die Anlage geleistet werden. Durch hohe Betriebskosten wird die Kopplung nicht mehr zu bedarfsgerechten Einspeisung von Strom genutzt. Der Wasserstoff wird stattdessen ins

Erdgasnetz eingespeist und als Treibstoff verkauft. Wetterbedingte Störungen wie Windflauten können durch sie ausgeglichen werden. Der Beitrag der Anlage zur Versorgungssicherheit wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Technische Nischenentwicklung des Elektrolyseurs und der digitalen Vernetzung und Steuerung der Systeme.
- Hohe Betriebskosten der Rückverstromung.
- Geringe Speicher- und Transportkosten des Wasserstoffs durch Erdgasnetz, jedoch rechtliche und systemische Einspeisebegrenzung.

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das Transformative Potential und die Transformative Wirkung des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes sind daran festzumachen, inwieweit durch die Anlage das dominante Regime der Erneuerbaren Energieerzeugung und Energiespeicherung in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird beziehungsweise werden kann. Die Hybridkraftwerk weist das Potential auf, durch die Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff aus Windkraftan einer Substitution von fossilen Energieträgern mit neuen EE (Windgas und H_2-Treibstoff), und zu einer veränderten Wahrnehmung von EE als regelfähig beizutragen. Die Kopplung kann so an einer nachhaltigen, emissionsfreien Energieversorgung und -nutzung in Berlin und Brandenburg beitragen. So ermöglicht das Hybridkraftwerk die Versorgung Berlins mit grünem Wasserstoff-Treibstoff und trägt zur Versorgung mit klimafreundlicher Wärme in Prenzlau bei. Mit der Einspeisung ins europäische Erdgasnetz, wobei Gas tendenziell in Brandenburg verbraucht wird, trägt das Kraftwerk zu einem klimafreundlicheren Gasversorgung bei. Hinsichtlich der Grundlastfähigkeit von EE durch Rückverstromung ins europäische Stromnetz wurden generell Lerneffekte erzielt. Auf der Ebene von Verhaltensänderungen kann das Hybridkraftwerk keinen Einfluss nehmen (zum Beispiel weiterhin Nutzung von Gas, Autofahren, keine Senkung des Stromverbrauches). Das Potential des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes wurde durch die technische Umsetzung und institutionelle Verankerung weitestgehend in Transformative Wirkungen umgesetzt. Die ursprünglich als unmöglich betrachte Regelfähigkeit wetterabhängiger Energiequellen konnte technisch über die Speicherung und Rückverstromung von Wasserstoff nachgewiesen werden. Als technisches Novum konnte die industrielle Anlage erst nach einiger Verzögerung rechtlich im Regime verankert werden.

Die Transformativen Wirkungen des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes zeigen sich wie folgt:

- Erfolgreicher Abschluss des Forschungsprojektes und Beweis der Regelfähigkeit EE: der bis dato stärkste Vorteil des dominanten Regimes „Energieversorgung durch fossile Energieträger“ wird durch die Infrastrukturkopplung (Erzeugung Erneuerbarer Energie und saisonale Speicherung) hinfällig. Diese strukturelle Veränderung im Regime der EE bescheidet ihm einen transformativen Vorteil in Form von Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen.
- Erschließung neuer Infrastrukturen und Märkte: dem dominanten Regime der Gasversorgung durch Erdgas und Treibstoffe durch Diesel und Benzin werden

funktionierende Alternativen mit Wasserstoff in industriellen Produktionsmengen entgegengesetzt.
- Die Infrastrukturkopplung führt zu sektorenübergreifenden Netzwerkenzwischen etablierten und Nischenunternehmen (ENERTRAG als EE-Erzeuger, Mobilitätskonzern Deutsche Bahn, Energiekonzern Vattenfall, Mineralölkonzern TOTAL, Energiegenossenschaft Greenpeace Energy, Gasnetzbetreiber Ontras).

Das Transformatives Potential und seine Einschränkungen für eine breitere transformative Wirkung:
- Das transformative Potential von klimafreundlichen Windgas und Treibstoff ist groß, jedoch (noch) technisch begrenzt und preislich nicht kompetitiv mit fossilen Energieträgern.
- Planung größerer Anlagen kann durch Lernerfahrungen optimiert werden, bedeutet jedoch einen finanziell hohen Aufwand – Wasserstofftechnologien bewegen sich weiterhin im Bereich der Forschung und sind für Unternehmen ohne öffentliche Förderung zu kosten-intensiv.
- Rechtliche Rahmenbedingungen setzen keine beziehungsweise gegenläufige Anreize und hinderliche Gesetze für die Power-to-Gas Technologie und den Ausbau der Windgasproduktion, so dass im Gassektor das fossile Erdgas weiter dominiert.

Zum Teil wird das Transformative Potential nicht voll ausgeschöpft und so die Transformative Wirkung gemindert:
- Der begrenzter Einfluss der Anlage auf der Nachfrageseite: die Betreiber stellen lediglich das Angebot in Form des Produktes Wasserstoff zur Verfügung. Die Nachfrage zum Beispiel von Wasserstoff-Autos/Treibstoff kann nicht beeinflusst werden.
- Die Innovation bezieht sich eher auf technologische Innovation und vernachlässigt nicht-technologische Systemkomponenten (wie zum Beispiel Kultur, soziale Praktiken), die Präferenzen für und Verwendung von Technologie von (potenziellen) Kunden beeinflussen. Eine klare Ausnahme ist die Schaffung eines Angebotes für Treibstoff und Windgas aus grünem Wasserstoff.

5 Fazit

Der Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes in Prenzlau wurde maßgeblich vom Windkraftunternehme ENERTRAG bestimmt. Die Vision des Inhabers, ein Kraftwerk Erneuerbarer Energien zu bauen, was deren Produktion und Speicherung beinhaltet, prägte die Grundphilosophie des Unternehmens. Seit der Gründung 1993 entwickelte sich das Unternehmen entlang dieser Vision: Vom Bau von Windkraftanlagen zu Windfeldern, hin zu deren Vernetzung und Einspeisung ins europäische Stromnetz, was sie „Kraftwerk Uckermark“ nannten und die Basis für die Suche nach einem geeigneten saisonalen Speicher Erneuerbarer Energien darstellte. Während der folgenden Forschungs- und Entwicklungsphase hin zum

Wasserstoff-Hybridkraftwerk waren Universitäten involviert um den innovativen Elektrolyseur zur industriellen Wasserstoffproduktion mit zu entwickeln. Ohne die finanziellen Anreize des EEG und die Förderung als Pilotprojekt aus öffentlichen Mitteln, wäre das Kraftwerk nicht möglich gewesen. Das Ziel des Forschungsprojektes, den Nachweis der Regelbarkeit von EE durch Energiespeicherung zu erbringen, ist wirtschaftlich (noch immer nicht) rentabel. Unterstützend, in Form von einer Zusatzfinanzierung, und später als Abnehmer des Wasserstoff-Treibstoffs, spielten etablierte Wirtschaftsunternehmen aus dem Energie- und Mobilitätssektor eine Rolle. Letztlich bestimmte ein Nischenakteur, die Energiegenossenschaft Greenpeace Energy, und die Bereitschaft ihrer Mitglieder Windgas zu subventionieren, eine wesentlich Rolle für den wirtschaftlichen Erfolg des Kraftwerkes. Rechtliche Rahmenbedingungen behindern den Ausbau der grünen Wasserstoff-Technologie (heute unter Power-to-Gas bekannter). Die Nische der „Power-to-Gas"-Technologie ist mittlerweile Teil des Regimes und im (Erneuerbaren) Energierecht (EEG, EnwWG) verankert, jedoch nicht vereinheitlicht und gefördert. So herrscht keine einheitliche Begriffsdefinition und es fehlen Anreize für grüne Energiespeicher(-technologien) und deren Stromeinspeisung (Entschädigungszahlungen für nicht einspeisefähigen Wind-Spitzenlaststrom). Die Produktion von Windgas ist damit wirtschaftlich nicht rentabel, obwohl eine Nachfrage besteht (Greenpeace Energy baute 2015 eine eigene Anlage um seinen Bedarf zu decken).
Wichter sozio-kultureller Einflussfaktor entlang des Entwicklungspfades war der Pioniergeist unterschiedlicher Akteure im Kontext der Metafaktoren Klimawandel und Energiewende. Der Initiator und Bertreiber ENERTRAG, die Stadt Prenzlau, etablierte Unternehmen verschiedener Branchen, Nischenakteuren und Politik unterstützten die neue Technologie um wesentliche Probleme der Energiewende anzugehen und neue Lösungen zu erproben. Anreize und Regulierungen ermöglichten die Realisierung des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes als Forschungsprojekt, behindern allerdings im weiteren Verlauf weitere klimafreundliche, rentable Absatzwege(Windgas). Das geringe Nachfrageverhalten durch die kostenintensive Technik beschränkt den Absatz von Wasserstoff-Treibstoff bisher nur im geringen Forschungsumfang. Hinsichtlich des Beitrages der Infrastrukturkopplung zu einer Nachhaltigkeitstransformation zeigte das Hybridkraftwerk zwei relevante Punkte auf: 1) die Möglichkeit der Regelbarkeit Erneuerbarer Energien und 2) das Produkt Wasserstoff mit Nutzung im Verkehr-, Gas-, Strom- und Wärmesektor. Als industrielle Anlage beweist es, dass der saisonale Speicher Wasserstoff Flautezeiten bei Wind- und Solarenergieproduktion überbrücken kann, und dass Wasserstoff vielfältige klimafreundliche Absatzprodukte bietet. Während Windgas über das europäische Erdgasnetz umfangreich speicher-und transportierbar ist und bereits von rund 10.000 Greenpeace Energy Mitgliedern nachgefragt wird, ist der Absatz von Wasserstoff-Treibstoff bisher auf Forschungsprojekte begrenzt (bietet im Verkehrsbereich jedoch ein großes Potential auch im Hinblick auf den Ladevorteil im Vergleich zu Elektroautos). Bisher erschweren jedoch zumeist rechtliche Einschränkungen den Ausbau von grünen Energiespeichern und Power-to-Gas-Anlagen, und damit den Beitrag an einer breiteren gesellschaftlichen Nachhaltigkeitstransformation.

6 Quellenverzeichnis

Bockris, J. 0'M, und Justi, E. (1981): Wasserstoff, die Energie für alle Zeiten, Konzept einer Sonnen-Wasserstoff-Wirtschaft (Bd. 53). Udo Pfriemer Verlag. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cite.330530213/abstract. Aufgerufen am: 06.04.2017.

Bundesregierung. (2016): Energiewende im Überblick. Abgerufen von https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html. Aufgerufen am: 06.02.2017.

CEP (2017): Clean Energy Partnership. Abgerufen von https://cleanenergypartnership.de/clean-energy-partnership/aufgabenfelder/?scroll=true. Aufgerufen am: 10.05.2017.

dena (2017): Strategieplattform Power to Gas. Deutsche Energie-Agentur (dena). http://www.powertogas.info/ Aufgerufen am: 06.04.2017.

Deshmukh, M. K., und Deshmukh, S. S. (2008): Modeling of hybrid renewable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(1), 235–249. https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.011 Aufgerufen am: 04.04.2017.

Döring, R. (2017): Telefonisches Gespräch mit Robert Döring (Leiter Energiepolitik und Pressesprecher) über den Entwicklungspfad des Wasserstoff-Hybridkraftwerkes Prenzlau am 03.04.2017.

EC. (2015): Das weltweit erste Hybridkraftwerk mit Wasserstoffspeicher. http://ec.europa.eu/regional_policy/de/projects/germany/the-first-hybrid-electricity-fuel-heat-power-plant-with-hydrogen-storage-in-the-worldAufgerufen am: 06.03.2017.

ENERTRAG. (2007): Netzstudie Brandenburg. Powerpoint Präsentation.https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwiVjYLEy5nTAhXIbxQKHUCLARMQFggqMAI&url=http%3A%2F%2Fwww-docs.tu-cottbus.de%2Fcebra%2Fpublic%2FDownloadDokumente%2FInnovationstag%2F2007%2F7a_Wagner.pdf&usg=AFQjCNGbPqg9xhaosTP4QIi4bcY28vm-TQ&sig2=g7f1RdCrY1fyb00ciqxy4w&cad=rjaAufgerufen am: 06.03.2017.

ENERTRAG. (2008): Energie nach Bedarf - Das Hybridkraftwerk. www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/Enertrag_Hybridkraftwerk.pdfAufgerufen am: 06.02.2017.

ENERTRAG (2013): FAQ ENERTRAG Hybridkraftwerk. https://www.enertrag.com/fileadmin/downloads/public/hybridkraftwerk/faq_hybridkraftwerk_30102013.pdf Aufgerufen am: 16.03.2017.

ENERTRAG (2014): ENERTRAG Geschichte. Abgerufen von https://www.enertrag.com/index.php?id=89_unternehmenAufgerufen am: 06.03.2017.

ENERTRAG und Greenpeace Energy (2014): Zusatzinformationen zum Spatenstich. https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/2013-10-28_Hintergrundpapier_Wasserstoffeinspeisung_Enertrag.pdfAufgerufen am: 06.02.2017.

Erdinc, O., und Uzunoglu, M. (2012): Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(3), 1412–1425.

Fischer, M. (2009): Merkel legt Grundstein für weltweit erstes Hybridkraftwerk. https://www.merkur.de/politik/mm-merkel-legt-grundstein-erstes-hybridkraftwerk-216494.htmlAufgerufen am: 06.02.2017.

Gith, T. (2012): Aus Windenergie wird Wasserstoff - Das Hybridkraftwerk in Prenzlau. http://www.deutschlandfunk.de/aus-windenergie-wird-wasserstoff.676.de.html?dram:article_id=215356Aufgerufen am: 06.02.2017.

Greenpeace Energy (2014): Gaskunden von Greenpeace Energy heizen und kochen ab sofort auch mit Wasserstoff. https://www.greenpeace-energy.de/presse/artikel/gaskunden-von-greenpeace-energy-heizen-und-kochen-ab-sofort-auch-mit-wasserstoff.htmlAufgerufen am: 06.02.2017.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Merkel, A. (2009): Rede von Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel bei der Grundsteinlegung für das Hybridkraftwerk der ENERTRAG AG am 21. April 2009 in Prenzlau. https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Bulletin/2009/04/Anlagen/46-1-bk.pdf?__blob=publicationFile&v=1Aufgerufen am: 06.02.2017.

Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg. (2008): Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg. Potsdam. www.energie.brandenburg.de/media/bb1.a.2755.de/Energiestrategie_2020.pdfAufgerufen am: 06.02.2017.

Niederlausitz aktuell (2011): Wasserstoff-Hybridkraftwerk Prenzlau: ENERTRAG, TOTAL und Vattenfall vereinbaren Kooperation. Abgerufen von http://www.niederlausitz-aktuell.de/brandenburg/12913/wasserstoff-hybridkraftwerk-prenzlau-enertrag-total.html.

Oschmann, D. (2011): Neues Hybridkraftwerk geht in Brandenburg ans Netz. https://www.stromvergleich.de/stromnachrichten/4778-neues-hybridkraftwerk-geht-in-brandenburg-ans-netz-25-10-2011Aufgerufen am: 06.02.2017.

Otto, G. (1989): Aerogie: Windenergienutzung die schadstoffreie Energieversorgungoder-die ökologische Physik der Energiebereitstellung. Berlin. Verlag Aerogie.

Rundel, P., Meyer, B., Meiller, M., Meyer, I., Daschner, R., Jakuttis, M. und Hornung, A. (2013): Speicher für die Energiewende. Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheit- und Energietechnik UMSICHT.Aufgerufen am: 06.02.2017.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Schleswig-Holstein Netz AG. (2017): SmartRegion Pellworm - Energie-Region mit Zukunftsanschluss. Abgerufen von http://www.smartregion-pellworm.de/home.htmlAufgerufen am: 06.02.2017.

Schwarz, H., Bitsch, R., Fichtner, W., Pforte, R. und Pfeiffer, K. (2008): Netzintegration Erneuerbarer Energien in Brandenburg. Ministerium für Wirtschaft des Landes Brandenburg. http://www. brandenburg. de/media_fast/bb2. a, 5599 undhttp://leibniz-institut.de/archiv/schwarz_24_11_08.pdfAufgerufen am: 06.02.2017.

Trends der Zukunft (2011): Weltweit erstes Wasserstoff-Hybridkraftwerk am Netz: Wasserstoff macht Windenergie bei Flaute nutzbar. http://www.trendsderzukunft.de/weltweit-erstes-wasserstoff-hybridkraftwerk-am-netz-wasserstoff-macht-windenergie-bei-flaute-nutzbar/2011/10/26/Aufgerufen am: 06.02.2017.

Verivax. (2010): Vattenfall steigt bei brandenburgischem Hybridkraftwerk ein. http://www.verivox.de/nachrichten/vattenfall-steigt-bei-brandenburgischem-hybridkraftwerk-ein-66063/Aufgerufen am: 06.02.2017.

Wagner, S. (2011): Hybridkraftwerk in Prenzlau - Aus Wind wird Wasserstoff wird Strom. http://www.focus.de/wissen/klima/tid-24018/hybridkraftwerk-in-prenzlau-aus-wind-wird-wasserstoff-wird-strom_aid_678417.htmlAufgerufen am: 06.02.2017.

WDR (2016): Weltweit erstes Wasserstoff-Hybridkraftwerk geht in Betrieb 25. Oktober 2011. Abgerufen von http://www1.wdr.de/stichtag/stichtag-erstes-hybridkraftwerk-prenzlau-100.html.

9. Neue Stromwelten in den Alpen – das VPS Allgäu

Autorinnen und Autoren: Moritz Müller[1], Katharina Hölscher[1], Alfred Olfert[3], Jörg Walther[4]

[1] Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT), Erasmus Universität Rotterdam, Niederlande
[2] Brandenburgische Technische Universität (BTU), Cottbus-Senftenberg
[3] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden

1 Einleitung

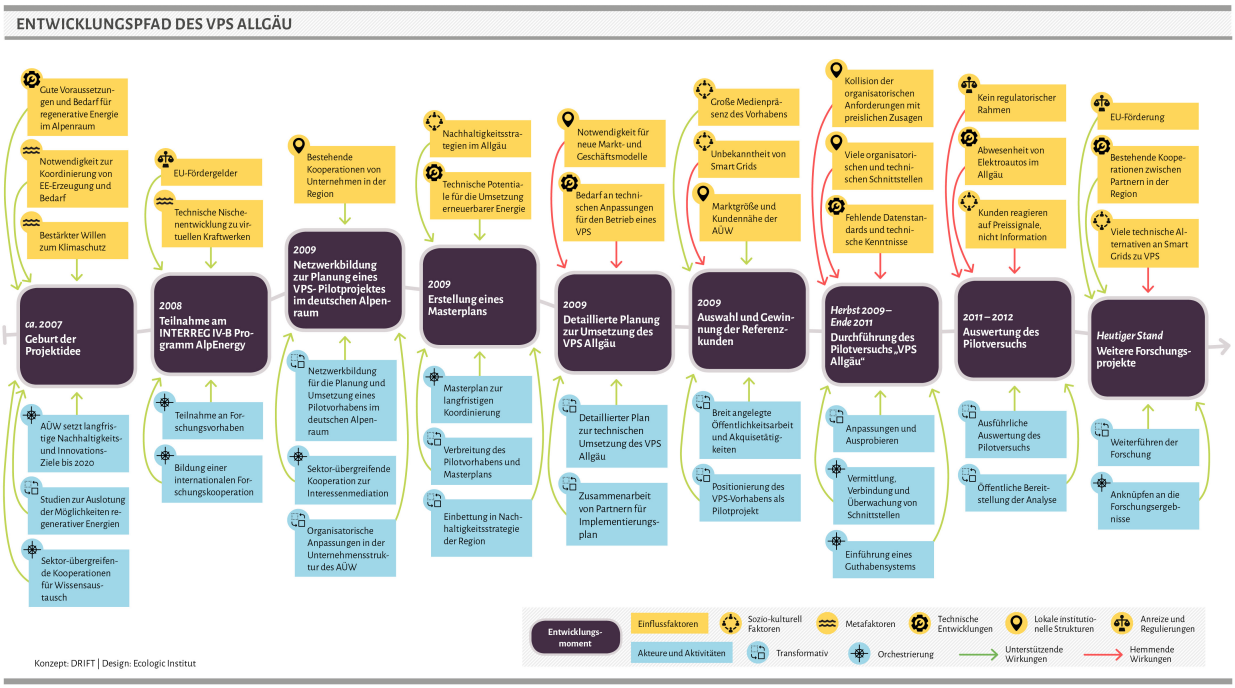
Der Alpenraum stellt besondere Herausforderungen an die Stromversorgung seiner Bewohnerinnen und Bewohner. Auf der einen Seite bietet das Alpenland zahlreiche Möglichkeiten regenerativer Energieerzeugung, auf der anderen Seite ist die Stromvernetzung (vor allem in den abgelegenen Regionen) stark veraltet und nicht für die Nutzung und Einspeisung erzeugter Elektrizität konstruiert (AlpEnergy et al. 2010). In Anbetracht dieser Herausforderungen haben sich Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik aus Frankreich, Deutschland, Italien, Slowenien und der Schweiz zusammengeschlossen, um gemeinsam Lösungsansätze für die Herausforderungen der Stromversorgung im Alpenraum zu entwickeln und zu erproben. Innerhalb des Forschungsprojektes AlpEnergy testeten die Partner von 2008 bis 2011 in sechs ausgewählten Regionen im Alpenraum die Möglichkeiten virtueller Stromversorgungssystemen (auch virtuelle Kraftwerksysteme, englisch: Virtual Power System, kurz: VPS). Es sollte eine Balance zwischen wetterabhängiger Stromerzeugung (Wind und Solar) und dem nicht deckungsgleichen Verbrauchsverhalten gefunden und gehalten werden (AlpEnergy et al. 2010). Innerhalb Deutschlands wurde unter Leitung des Allgäuer Überlandwerkes (AÜW) und der B.A.U.M. Consulting Group dafür das Pilotprojekt „VPS Allgäu“ ins Leben gerufen, welches ein virtuelles Stromversorgungssystem bestehend aus einem regionalen Verbund dezentraler Erzeuger (PV, Wind- und Wasserkraftanlagen) und dezentraler Verbraucher (Privathaushalte, Gewerbe, Landwirtschaft) kombinierte. Das System ist für die Erzeugung und den Verbrauch einer Jahresenergiemenge von 1 GWh dimensioniert. Neben Strom wurden auch Daten über Energieangebot und -nachfrage ausgetauscht, um Angebot und Nachfrage optimal aufeinander abzustimmen. Mit Hilfe von 260 ausgewählten Referenzkunden, die mit intelligenten Stromzählern ausgestattet wurden, wurden technische und verbraucherseitige Daten gewonnen (Allgäuer Überlandwerk GmbH 2014).
Das Vorhaben „VPS Allgäu“ wird von uns zum Zeitpunkt seiner ersten Umsetzung als eine Nischeninnovation im Bezug zum bestehenden Regime der Energieversorgung und IKT im deutschen Alpenland betrachtet. Die funktionalen Systemgrenzen beziehen sich daher auf die Sektoren Energieerzeugung und IKT. Das VPS Allgäu wurde aufgebaut, um die guten Möglichkeiten der regenerativen Energiegewinnung im Alpenraum für eine Vielzahl von Nutzern zugänglich zu machen. Bezüglich regenerativer Energieversorgung sind grundsätzlich vor allem die temporären Spitzen dieser Erzeugungsarten ein Problem: Beispielsweise gibt es die Herausforderung, dass während der „Mittagsspitze“ von PV-Anlagen ein relativ geringer

Energiebedarf der Abnehmer besteht (Witte und Kaltschmitt 2016). Das System hat somit das Potenzial, zu Klimaschutz und Klimaresilienz in der Alpenregion beizutragen: Durch das VPS Allgäu werden erneuerbare Energieträger nutzbar gemacht und miteinander gekoppelt, um Schwankungen auszugleichen und Versorgungssicherheit herzustellen – so können konventionelle Energieträger wie Kohle und Gas besser ersetzt werden.
Im Folgenden **beschreiben und analysieren wir den Entwicklungspfad des VPS Allgäu** von der Idee bis zum heutigen Stand. Das Vorgehen folgt unserem Analyserahmen für TRAFIS AP 2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf zwei Interviews mit an dem Projekt beteiligten Akteurinnen und Akteuren (Anhang 2.8). **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung festzustellen.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der akteursbezogenen Prozesse, um aufzuzeigen, durch welche Handlungen Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind den Entwicklungspfad vorangetrieben haben und welche Herausforderung bestehen. Darüber hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) des VPS Allgäu zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit die Infrastrukturkopplung zu einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann.
Wir beschreiben zunächst den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung von der Idee bis zum heutigen Stand (Abschnitt 2). Hierzu benennen wir die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfads sowie die diese Schritte beeinflussenden Faktoren. Im nächsten Schritt analysieren wir die Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfads: Welche Einflussfaktoren und akteursbezogenen Prozesse wirken sich auf die Entwicklungsmomente aus (Abschnitt 3). Zuletzt beschreiben wir den erzielten Beitrag des VPS Allgäu an einer Nachhaltigkeitstransformation (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad

Im folgenden Abschnitt untersuchen wir den Entwicklungspfad des VPS Allgäu von der Idee bis zum heutigen Stand anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente. Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Kopplung als Nischeninnovation im Bezug zum bestehenden Regime der Energieerzeugung und IKT im der Region Allgäu. Aufgrund des Abschlusses des Forschungs- und Implementierungsvorhaben umfasst der Entwicklungspfad neben der ersten Gestaltung und Umsetzung des VPS auch weitere Entwicklungen, wie Erfahrungen und Weiterverbreitung der Erkenntnisse in Politik und Wirtschaft. Abbildung 22 gibt eine Übersicht über den Entwicklungspfad.

Abbildung 22: Der Entwicklungspfad des VPS Allgäu



2.1 Entwicklungsmoment #1: Geburt der Leitidee (ca. 2007)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Im deutschen Alpenraum haben Stromversorger mit besonderen Herausforderungen zu kämpfen. Durch eine Zunahme von Abnehmern und Strommenge muss das Stromnetz eine immer größere Netzbelastung tolerieren. Das Problem wird dadurch verstärkt, dass gerade der Alpenraum viele Möglichkeiten der dezentralen regenerativen Stromerzeugung durch PV- oder Windkraft-Anlagen bietet und dementsprechend eine immer größere Strommenge von privaten Stromerzeugern (zum Beispiel PV-Dachanlage) zurück in das Stromnetz speisen (Albrecht et al. 2011b). Anders als in dicht besiedelten Gegenden (wie Städten) kann das Stromnetz nicht einfach modernisiert werden, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden: Da viele Stromleitungen im Alpenraum zu abgelegenen Dörfern mit wenigen Stromabnehmern laufen, ist es oft finanziell unrentabel, Stromleitungen zu erneuern. Daher sind Stromversorger im Alpenraum besonders daran interessiert, neue technische Möglichkeiten der Netzgestaltung zu finden, welche zum einen die Resilienz des Stromnetzes gegen die zukünftig steigenden Anforderungen (besonders größere Stromeinspeisungen durch dezentrale Stromerzeuger) erhöhen und zum anderen keine neuen Stromleitungen erfordern.

Auch der größte Energieversorger der Region, das Allgäuer Überlandwerk (AÜW), ist an dem Potenzial regenerativer Energiegewinnung in der Region interessiert: Das Unternehmen hat sich bis 2020 das Ziel gesetzt, eine Vorreiterrolle innerhalb der Energiewirtschaft in seinem Wirkungsbereich als innovationskräftiger Energieversorger einzunehmen und die Generation erneuerbarer Energie systematisch auszubauen (Albrecht et al. 2011b). Auch die Kundenorientierung des Unternehmens sollte durch ein ausgeweitetes Angebot und mehr

Transparenz, zugeschnitten auf die (teilweise speziellen) Ansprüche der lokalen Bevölkerung, erweitert werden. Im Jahr 2007 setzte man sich daher das Ziel, neue Stromkonzepte zu erarbeiten und zu testen.
Das Unternehmen hat 2007 beim Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg die PEESA-Studie (Potentiale erneuerbarer und effizienter Stromversorger im Allgäu) in Auftrag gegeben. Die Studienergebnisse stellten klar, dass in der Region ein hohes, noch nicht ausgeschöpftes Potenzial für den Zubau weiterer regenerativer Erzeugungsanlagen besteht, vor allem für Wind- und Sonnenenergie (Juli 2014). Die PEESA-Studie untersuchte allerdings nur das Potential der Energieerzeugung, nicht aber den Zeitpunkt der Erzeugung und inwieweit Erzeugung und Verbrauch korrelieren. Bei der Umsetzung des Zubaupotentials wurde immer deutlicher, dass die vorhandene Stromverteilungsinfrastruktur an ihre Kapazitätsgrenzen stößt (AlpEnergy 2011). Das Netz war nur für die Abnahme von Strom konzipiert, nicht aber für die Abgabe von regenerativen Strom, welcher zunehmender dezentral von kleinen Betrieben und Privathaushalten hergestellt wurde. Energie wurde nach dem damaligen Modell in großen Kohle- und Gaskraftwerken hergestellt, in dicke Übertragungsleitungen in das Stromnetz eingespeist und dann in immer feiner werdenden Verästelungen bis hin zum Verbraucher transportiert, teils bis in abgelegene Bergdörfer. Da Strom aus Sonnen- oder Windkraft aber immer mehr bei eben jenen Abnehmern produziert wurde, mussten immer größere Energiemengen über die feinen Netzstränge am Ende der ursprünglichen Leitungen eingespeist werden. Dies führte schnell zu einer Netzüberlastung. Diese Überlastung wurde noch dadurch verschlimmert, dass Solar- und Windkraft im Gegensatz zu fossilen Energieträgern nicht konstant, sondern ungleichmäßig und oftmals schlecht planbar zur Verfügung standen, was zu großen Einspeisungsschwankungen im Stromnetz führte (Albrecht et al. 2011b).
Basierend auf den Erkenntnissen der PEESA-Studie schlossen sich die AÜW (Energieversorger), B.A.U.M. Consulting Group (ein bundesweit operierendes Beratungsunternehmen mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit) und Allgäu GmbH (Gesellschaft für Standort und Tourismus in der Region) zusammen, um weitere Erkenntnisse für den optimalen Netzausbau zu gewinnen. Die Unternehmen waren vor allem an der Frage interessiert, wie das Problem der Netzüberlastung gelöst werden könnte. Eine Möglichkeit war der klassische Ausbau des Netzes hin zu besseren, tragfähigeren Leitungen. Diese Variante ist an sich schon sehr kostenintensiv, innerhalb der schwierigen topographischen Gegebenheiten im Alpenraum wird diese Lösung aber schnell finanziell unrentabel. Das AÜW war daher besonders an Lösungsansätzen interessiert, welche einen schwierigen Netzausbau bei gleichbleibenden (oder besseren) Ergebnissen vermeiden können. Schon damals wurden dezentrale Lösungsansätze favorisiert und man wollte daher Erfahrungen für den Systemwandel von der zentralen (Stromerzeugung in großen Kraftwerken) zur dezentralen Stromversorgung (Stromerzeugung beim Endnutzer und Rückspeisung überflüssigen Stroms in das Netz) gewinnen.
Die Nutzung von Wasserkraft hat im Allgäu Tradition: Schon seit dem 15. Jahrhundert wurde in der Region so Energie gewonnen (Popp 2013). Seit dem Jahr 2000 wurden zusätzlich Windkraftanlagen errichtet und zunehmend werden PV-Anlagen gebaut (Stadt Wangen 2017). Weiterhin bestand im gesamten deutschen Alpenraum schon seit den 1990er Jahren ein politisches Interesse daran, das hohe Potenzial erneuerbarer Energien in dieser Gegend

ausreichen zu nutzen (Gmelch 2000). Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), wirkten von Beginn an förderlich auf die Entwicklung von EE-Erzeugungssystemen. Allerdings gab es auch im Alpenraum die Herausforderung, die gewonnene Energie möglichst effizient zu nutzen (Tampieri et al. 2014). Besonders langfristige Speichersysteme wie beispielsweise Batteriestromspeicher stellten keine effiziente Langzeitlösung dar. Integrierte Systeme, die direkt mit den Stromerzeugungsanlagen gekoppelt werden können, waren noch nicht auf einem flächendeckenden Maßstab etabliert oder umgesetzt.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Erzeugung regenerativer Energie als Tradition im Allgäu: Im Allgäu wird schon seit dem 15. Jahrhundert Energie aus erneuerbaren Quellen gewonnen. Besonders Wasserkraft wird seither genutzt und immer weiter ausgebaut. Seit den 2000er Jahren wurde auch Solarkraft als zukünftige Energiequelle erkannt und gefördert.
- Bestärkter Willen zum Klimaschutz auf globalen bis lokalen Ebenen: Die (Wahrnehmung der) Umwelt-, Energie- und Klimakrisen (zum Beispiel Endlichkeit fossiler Rohstoffe, tendenziell steigende Preise für fossile Energieträger, Umweltbelastung aus der Verbrennung fossiler Energieträger, Klimawandel) in Politik und Gesellschaft ab den 1970er Jahren und wachsendes Interesse für Umwelt- und Klimaschutz auf globaler, europäischer und Bundesebene (Schlör et al. 2015, TU Dresden 2015, Kroll und Ehrhardt 2012). Vorher wurde Energiepolitik vor allem unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit gesehen (Brauch 1997) und Energieverbrauch wurde als zentraler Indikator für wirtschaftlichen Wohlstand angesehen. Seit sich die deutsche Bundesregierung in den 1990er Jahren energiepolitische Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energieerzeugung setzte, folgte das Land Bayern und die Allgäuer Region diesen Vorhaben und baute nachhaltige Energieerzeugungsanlagen aus (Popp 2013).
- Notwendigkeit zur Koordinierung von EE-Erzeugung und Bedarf: Die Umstrukturierung von einer zentralen zu einer dezentralen, nachhaltigen und wirtschaftlichen Energieerzeugungsstruktur macht eine Optimierung des Versorgungssystems notwendig. Die Energiewende geht mit einer starken Veränderung des Strommixes einher. Die bisherige, stark zentralisierte und auf Großkraftwerken basierende Energieversorgung wandelt sich im Zuge der Energiewende zu einer zunehmend dezentralen Erzeugung (EnEFF Stadt 2016, BINE Informationsdienst 2016, Schmidt et al. 2016). Weil erneuerbare Energiequellen nicht jederzeit gleichmäßig zur Verfügung stehen und viele, vor allem alte, konventionelle Kraftwerke nicht ausreichend schnell regelbar sind, müssen viele kleine erneuerbare Energieerzeuger intelligent ins Netz integriert werden um Energienachfrage und -bedarf flexibel aufeinander abzustimmen und im Stromnetz eine ständige Balance von Angebot und Nachfrage sicherzustellen (BINE Informationsdienst 2013, Intersolar Europe 2016, RRI 2016). Dies stellt insbesondere technische Herausforderungen an den Aufbau eines intelligenten Energiesystems, das Stromerzeuger, Speicher, Verbraucher und Netze optimal verbindet und steuert um die regionalen Flexibilitätspotentiale zu nutzen und die Strom-, Gas- und

Wärmeversorgung mithilfe von Kommunikationstechnik stärker zu vernetzen (BINE Informationsdienst 2016, Bayo Energy 2015).

- Regionalisierung der Energiewirtschaft als Chance: Strom aus der Region für die Region, Kombination von Wärmekonzepten, Nutzung regionaler Flexibilität (Lastverschiebungspotential), Steigerung der regionalen Versorgungssicherheit (zum Beispiel Inselbetrieb und Notversorgung im Krisenfall); Herausforderungen: Netzbetrieb und neue Marktprozesse, Aufrechterhaltung der Netzstabilität, Intelligente datentechnische Vernetzung (Bayo Energy 2015).
- Forschung und technischer Fortschritt in Bezug auf die Energiewende: Seit Beginn der 1990er Jahre besteht ein exponentielles Wachstum der weltweiten wissenschaftlichen Forschung zu nachhaltigen Energiesystemen, welche die Machbarkeit von vollständig erneuerbaren Energieversorgung analysieren und aufzeigen (Rizzi et al. 2014). 2010 fand ein deutlicher Bewusstseinswandel statt; eine vollständige erneuerbare Energieversorgung wird nun als realistisch erachtet (Sovacool 2013).
- Bedarf neuer Stromsysteme aufgrund der lokalen topografischen Gegebenheiten im Allgäu: Die besondere Topografie der Alpenregion (zum Beispiel Gebirgslandschaften und abgelegene Siedlungen) bedarf besondere Stromsysteme, welche möglichst eine Erneuerung alter Stromleitungen durch neue, effizientere Stromleitungen verhindert.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Neue Zielsetzung bei den AÜW: AÜW setzt sich langfristige Nachhaltigkeits- und Innovations-Ziele bis 2020. Fokus auf Innovations- und Kundenorientierung bezüglich des strategischen Ausbaus von Erneuerbaren Energien.
- Auslotung der Möglichkeiten regenerativer Energiequellen im Allgäu durch Studien (zum Beispiel PEESA).
- Sektor-übergreifende Kooperation zwischen AÜW (Energieversorger), B.A.U.M. Consulting Group (ein bundesweit operierendes Beratungsunternehmen mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit) und Allgäu GmbH (Gesellschaft für Standort und Tourismus in der Region) um weitere Erkenntnisse für den optimalen Netzausbau zu gewinnen.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Teilnahme am INTERREG IV-B Programm AlpEnergy (2008)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Um weitere Erkenntnisse für den optimalen Netzausbau und über den besten Zeitpunkt der Energieverfügbarkeit und Energieabnahme von Privat- und Gewerbekunden zu gewinnen, entschlossen sich die AÜW GmbH, die B.A.U.M. Consulting Group (ein bundesweit operierendes Beratungsunternehmen mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit) und die Allgäu GmbH (Gesellschaft für Standort und Tourismus in der Region) zeitnah nach der Fertigstellung der PEESA-Studie, an nationalen und internationalen Forschungs- und Innovationsvorhaben im Bereich der Energiegewinnung teilzunehmen.

Im Kontext der verstärkten Suche nach Lösungen für die Energieherausforderungen im Alpenraum nahm das AÜW seit 2008 am Vorhaben „AlpEnergy“ teil. AlpEnergy wurde im Rahmen des INTERREG Nord-West Europa Programms zur Förderung der ökonomischen,

umwelttechnischen, sozialen und territorialen Zukunft der nord-west europäischen Gebiete umgesetzt. Das Programm förderte verschiedene Forschungs- und technische Erprobungsvorhaben zu virtuellen Kraftwerken in Kooperation mit acht europäischen Ländern: Belgien, Frankreich, Deutschland, Irland, Luxemburg, Niederlande, Schweiz und Großbritannien (NWE INTERREG IVB 2015). Weiter wurde das Forschungsvorhaben durch das Förderprogramm „Alpine Spaces" vom europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Durch die Teilnahme an AlpEnergy sollten aus Sicht des AÜW die Grundlagen für einen Wandel des an seine Grenzen stoßenden unflexiblen Stromversorgungssystem hin zu einem virtuellen Stromversorgungssystem (VPS) gelegt werden (Albrecht et al. 2011).
Die AÜW hat zusammen mit der B.A.U.M. Consult GmbH das internationale Konsortium geleitet (AlpEnergy 2014). In den sechs Modellregionen – das Allgäu in Bayern (Deutschland), die autonome Region Aosta (Italien), die Provinz Belluno (Italien), das Belledonne-Gebiet in der Region Rhône-Alpes (Frankreich), die Region Gorenjska (Slowenien) und die Provinz Mantua in der Lombardei (Italien) – sollten die Analyse und Modellierung, das Design und die Entwicklung, die Demonstration und Erprobung, sowie die Evaluation und der Transfer von VPS durchgeführt werden (Albrecht et al. 2011).

Ziele der Zusammenarbeit waren:

- „*die Erschließung existierender Potenziale für Stromerzeugung aus heimischen erneuerbaren Energiequellen und verschiedener Möglichkeiten des Demand-Side Managements;*
- *das Angebot neuer wissensbasierter Einkommens- und Geschäftsmöglichkeiten für Landwirte und für innovative Stromversorgungsunternehmen;*
- *Beiträge zur Sicherstellung einer finanzierbaren Stromversorgung im Alpenraum und damit einhergehend die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen im Alpenraum generell;*
- *eine Basis für neue Stromversorgungskonzepte, die die Stromtrassen und deren Einfluss auf das Landschaftsbild minimieren und eine umweltverträglichere Stromerzeugung ermöglichen, wodurch sich der regionale und globale ökologische Fußabdruck verkleinert;*
- *Möglichkeiten für die Schaffung neuer globaler Geschäftsfelder für Unternehmen im Alpenraum zu erschließen*" (Albrecht et al. 2011; S.8).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- EU-Fördergelder: Die EU stellte Fördergelder (INTERREG Nord-West Europa Programm und Europäischer Fond für regionale Entwicklungen) für das internationale Forschungsprojekt AlpEnergy bereit.
- Technische Nischenentwicklung zu virtuellen Kraftwerken: Die Umstrukturierung von einer zentralen hin zu einer dezentralen, nachhaltigen und wirtschaftlichen Energieerzeugungsstruktur macht eine Optimierung des Versorgungssystems notwendig. Dabei gewinnt das perfekte Zusammenspiel von Netzausbau, Smart Grids, der aufeinander abgestimmte Einsatz von Speichern und konventionellen sowie

erneuerbaren Erzeugungssystemen mit Sektorkopplung zwischen Strom- und Wärmemarkt zunehmend an Bedeutung. Das Resultat sind virtuelle Kraftwerke – sie werden im Zuge dieser Entwicklung als Rückgrat der Energieversorgung der Zukunft erachtet (RRI 2016). Sie stellen die Frequenzhaltung im Stromnetz sicher und sind die Basis dafür, dass Energienachfrage und -bedarf im intelligenten Stromnetz flexibel aufeinander abgestimmt werden können. Es gibt bereits verschiedene und vielzählige Pilotprojekte zu virtuellen Kraftwerken, allerdings liegen Erfahrungsberichte derzeit nur vereinzelt vor (TU Dresden 2015).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Bewerbungen zur Teilnahme an nationalen und internationalen Forschungs- und Innovationsvorhaben im Bereich der Energiegewinnung durch die Kooperation.
- Bildung einer internationalen Forschungskooperation zwischen verschiedenen Partnern im gesamten Alpenraum.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Netzwerkbildung zur Planung eines VPS-Pilotprojektes im deutschen Alpenraum (2009)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Im Rahmen der Teilnahme an der AlpEnergy Forschungkooperation führten das AÜW mit Unterstützung der B.A.U.M. Consulting Group in der deutschen Alpenregion Kempten/Allgäu eines der ersten Pilotprojekte zur Erprobung des VPS Allgäu durch. Da die VPS-Technologie zur Zeit der Planung noch relativ neuartig war, wurde zuerst eine Nationale Technologieträger-Kooperation (NTK) bestehend aus deutschen Partnern aus der Wirtschaft (Zählerhersteller, Datenkonsolidierung, Abrechnungsdienstleister, Smart Home Entwickler) und aus der Wissenschaft (RWTH Aachen, Hochschule Osnabrück, Hochschule Kempten). Die NTK half bei der Planung und Umsetzung des Pilotversuchs im Allgäu.
Neben dem NTK wurde ein regionaler Beirat, bestehend aus Energieexperten und Vertreterinnen und Vertretern aus Kommunen und aus der Tourismus-Branche gegründet (koordiniert durch dieAllgäu GmbH). Der regionale Beirat sollte die anstehende technische Innovation und sämtliche Inhalte des Pilotversuchs branchenübergreifend regional und überregional in der Öffentlichkeit vorstellen und bewerben. Da das Fachwissen und das Interesse an neuartigen Stromsystemen in der lokalen Bevölkerung nicht weit verbreitet gewesen sind, war eine solche Unterstützung durch den Beirat notwendig, um das VPS erfolgreich testen zu können. Zum Beispiel, da das VPS in einem wissenschaftlichen Pilotversuch durchgeführt werden sollte, mussten Kunden gefunden werden, welche bereit waren, an dem Versuch teilzunehmen. Dazu wurde durch das AÜW und Allgäu GmbH eine interaktive Darstellung des geplanten VPS auf einer eigenen Website veröffentlicht, um Kunden für das neue System zu begeistern und die Chancen einer ausreichenden Teilnahme am Pilotversuch zu erhöhen.
Um die Umsetzung des Projektes zu koordinieren wurden innerhalb des hauptverantwortlichen Unternehmens AÜW neue Strukturen geschaffen: Es wurde eine eigene Abteilung für

Innovationsvorhaben aufgebaut und in der organisatorischen Struktur des Unternehmens eingebettet (Albrecht et al. 2011).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bestehende Kooperationen von Unternehmen in der Region.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Netzwerkbildung für die Planung und Umsetzung eines Pilotvorhabens im deutschen Alpenraum: Das NTK und ein regionaler Beirat wurden gebildet, um die Planung und Umsetzung des Pilotprojektes zu unterstützen. Ab dem Start von AlpEnergy war so schon die Tourismusgesellschaft Allgäu GmbH in das Vorhaben involviert. Zusätzlich wurde eine nationale Technologieträger-Kooperation gegründet, besonders um die technischen Fragen der Pilotprojektdurchführung beantworten zu können und -falls notwendig- neue Produkte zu entwickeln, welche die Herausforderungen des VPS lösen können.
- Organisatorische Anpassungen in der Unternehmensstruktur des AÜW: Um die Umsetzung des Projektes zu koordinieren wurden innerhalb des hauptverantwortlichen Unternehmens AÜW neue Strukturen geschaffen. Es wurde insbesondere eine eigene Abteilung für Innovationsvorhaben aufgebaut und in der organisatorischen Struktur des Unternehmens eingebettet.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Erstellung eines Masterplans (2009)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Basierend auf der Zusammenarbeit der verschiedenen Partner der NTK und des regionalen Beirats wurde ein Masterplan für das VPS Allgäu erstellt. Der Masterplan beschreibt die langfristige Zielsetzung (bis 2030) für das zukünftige Allgäuer Energiesystems unter Nutzung neuartiger Konzepte, wie ein VPS. Das langfristige Ziel war eine maximale Ausnutzung und sinnvolle Integration der vorhandenen natürlichen Ressourcen an Wind- und Sonnenenergie. Der Masterplan basiert auf einer Analyse der fördernden und hindernden Faktoren für die Implementierung eines VPS im Allgäu und eine Übersetzung dieser Faktoren in praktische Maßnahmen. Das Umsetzungsprojekt im Rahmen von AlpEnergy sollte die Grundlage für die weitere Ausweitung eines VPS im deutschen Alpenraum liefern. Ein weiteres Ziel war es, das Vorhaben in der weiteren Nachhaltigkeitsstrategie in Allgäu und Kempten einzubetten; demensprechend wurde es unter Akteuren der Kommunalpolitik, örtlich ansässigen Firmen und Bildungseinrichtungen verbreitet.

Die wichtigsten Maßnahmen des Masterplans, welche von 2010 bis 2030 von den beteiligten Partnern umgesetzt werden sollen, sind:

- Die Identifikation und Umsetzung von Potentialen erneuerbarer Energie in der Region;
- Basierend auf den Erkenntnissen früherer Studien und von Forschungspartnern sollen sogenannte Smart Meter (vernetzte Stromverbrauchsleser) bei Privat- und Geschäftskunden verbreitet werden;

- Identifikation und Umsetzung von neuen Geschäftsmodellen für Energiedienstleister.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Nachhaltigkeitsstrategien im Allgäu: Die Ziele des AlpEnergy Programmes sind mit der weiteren Nachhaltigkeitsstrategie der lokalen Akteure im Allgäu vereinbar.
- Potentiale für die Umsetzung erneuerbarer Energie in der Region: Der Masterplan konnte an früheren Studien ansetzen und weitgehende Potentiale für den Ausbau von erneuerbaren Energien identifizieren.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Erstellung eines Masterplans zur langfristigen Koordinierung verschiedener Maßnahmen bei verschiedenen Projektpartnern.
- Interessenmediation zur Vereinbarung und Koordination der verschiedenen Projektpartner: Die AÜW und die weiteren Partner des VPS Allgäu betten Ihre Ziele (zum Beispiel Erprobung neuer Technologien, Rollout von Smart Metern) in die regionale Nachhaltigkeitsstratgie für das Allgäu ein.
- Positionierung des Pilotvorhabens VPS Allgäu im Masterplan: Das Pilotprojekt konnte als wesentlicher Baustein im Rahmen des Masterplans angesetzt werden, welches langfristig zu den Zielen des Plans beiträgt.
- Verbreitung des Pilotvorhabens und Masterplans: Der Masterplan und das Pilotvorhaben VPS Allgäu wurden unter Akteuren der Kommunalpolitik, örtlich ansässigen Firmen und Bildungseinrichtungen zur Anbindung an die Nachhaltigkeitsstrategie der Region Allgäu und Kempten verbreitet um es innerhalb der breiteren politischen Zielsetzungen zu positionieren.

2.5 Entwicklungsmoment #5: Detaillierte Planung zur Umsetzung des VPS Allgäu (2009)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Das Ziel des Umsetzungsvorhabens des VPS Allgäu war es zu untersuchen, ob und wie es möglich ist, durch verbesserte Informationslage und Preisanreize den Verbrauch der lokal erzeugten erneuerbaren Energien möglichst zeitgenau anzupassen. Dafür wurde vom AÜW und den wissenschaftlichen Partnern der NTK ein Implementierungsplan für ein (modellhaftes) VPS Allgäu erstellt und in einem Pilotversuch aufgebaut und untersucht.

Im sogenannten White Book, einer durch AlpEnergy erstellten Implementierungsempfehlung für Akteure im der Energiepolitik und -wirtschaft, wird ein virtuelles Stromversorgungssystem (engl. Virtual Power System, kurz VPS) wie folgt definiert:

„Ein Virtuelles Stromversorgungssystem (VPS) balanciert mittels eines Kommunikationsnetzes verteilte Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchsanlagen in einem Teil eines Stromnetzes und verbindet sie mit den Energiemärkten.“ (Karg, et al. 2011; S. 23)

In den weiteren Planungsarbeiten ging es um die Umsetzung der Leitidee des AlpEnergy-Vorhabens für ein VPS im konkreten Pilotvorhaben im deutschen Alpenraum. Im Rahmen von AlpEnergy wurden auf der Erzeugerseite ausschließlich Ressourcen wie Biogas, PV und Wind beachtet. Die Idee eines VPS ist an sich verhältnismäßig neu, basiert aber auf zuvor

entwickelten Bestandteilen. Auf der Erzeugerseite wird ein sogenanntes virtuelles Kraftwerk (engl. Virtual Power Plant, kurz VPP) aufgebaut: Verschiedene Energieerzeugungsanlagen werden in einem gemeinsamen Energieerzeugungsprofil zusammengefasst (BMWi 2015). Die Erzeugung von Energie wird unter den verschiedenen Erzeugungsanlagen so koordiniert, dass das Netz vor Überlastungen soweit wie möglich geschützt wird. Auf der Verbraucherseite wird ein steuerbares Verbrauchersystem (engl. Virtual Load Plant, kurz VLP) erstellt: Mehrere Verbraucher werden in einem einzigen Verbraucherprofil zusammengefasst. Durch Smart Home Technologie, wie beispielsweise vernetzte Waschmaschinen, kann der Verbrauch über einen Zeitraum so gesteuert werden, dass das Stromnetz optimal ausgenutzt werden kann. Die verschiedenen stromverbrauchenden Geräte werden untereinander vernetzt, sodass die Stromabnahme zu jedem Zeitpunkt der Stromverfügbarkeit entspricht (Karg, Kleine-Hegermann, und AlpEnergy 2011). Das VPS verbindet die beiden Systembestandteile VPP und VLP, indem es die Generation und den Verbrauch (inklusive der möglichen Stromspeicherung) von Energie ausbalanciert. Es bedarf neuer Geschäftsmodelle in das Gesamtsystem, um diese Balance zu gewährleisten, wie beispielsweise Tarife (billigerer Strom bei Elektrizitätsüberschüssen um Netz) und Dienstleistungen (zum Beispiel Stromlastmanagement) (Schmidt et al. 2016).
Die Planung für das VPS Allgäu wurde geografisch auf die Stadt Kempten und den Landkreis Allgäu begrenzt. Auf der Stromerzeugerseite (VPP) umfasste das VPS eine insgesamt ungefähr 130 PV-Anlagen, Wasserkraft-, Windenergie- und Biomasseanlagen, welche sich rechnerisch auf eine jährliche Erzeugungsleistung von 1 GWh aufaddieren (Albrecht et al. 2011). Auf der Verbraucherseite (VLP) befanden sich eine repräsentativ ausgewählte Versuchsgruppe von ca. 260 Privat- und Gewerbekunden mit einem der Erzeugung passendem Stromverbrauch von 1 GWh. Zur Stromlieferung wurde das vorhandene regionale Verteilnetz benutzt, wobei der Schwerpunkt ausschließlich auf der Optimierung und Effizienzsteigerung der vorhandenen Infrastruktur lag, nicht aber auf deren Ausbau oder technischen Upgrades. Obwohl im späteren Testverfahren auch die Erzeugungsanlagen gesteuert werden sollten, wurde in dem Pilotversuch ein Fokus auf die Abnehmerseite gelegt. Durch nutzerseitige Management-Maßnahmen wie Preiszeitmodelle (Strom bei unterschiedlichen Nutzungszeitpunkten zu unterschiedlichen Tarifen) und das automatisierte Steuern von Haushaltsgeräten (Smart Home) sollte der Konsum der Erzeugung angepasst werden (Albrecht et al. 2011).
Im Rahmen des Projektes sollten zahlreiche Messungen bei den Referenzkunden durchgeführt werden. Beispielsweise wurde der Stromverbrauch der Kunden über den gesamten Tag gemessen, um feststellen zu können, ob Preisanreize zu Lastverschiebungen (geänderten Stromverbrauchsmustern) führen. Die geplanten Messungen erforderten einige verbraucherseitige Maßnahmen und Entwicklungen. Um den individuellen Stromverbrauch der Abnehmer zu messen, sollten bei den Referenzkunden Smart Meter installiert werden. Diese Geräte messen den Stromverbrauch und das genaue Nutzungsprofil der Verbraucher. Die Verbraucherdaten werden dann über Kabel- oder Funkverbindungen an ein Messdatenverwaltungssystem (Middleware) geschickt, von dem die Kunden und durchführenden Unternehmen die Daten mittels Medien wie ein Online-Portal einsehen konnten (Herz 2017 mündlich). Um die Erzeugung mit dem Verbrauch in Einklang zu bringen, werden die Nutzerdaten an ein VPS-Managementsystem geliefert. In diesem System werden sowohl vom

Verbrauch als auch von der Erzeugung detaillierte Prognosen erstellt. Diese beziehen exogene Größen wie Wetterprognosen, historische Lastgangmessung, Feier- und Ferientage, usw. mit in die Berechnung ein (Albrecht et al. 2011). Durch diese Prognosen kann dann täglich ein Über- beziehungsweise Unterdeckungsprofil von regenerativ erzeugter Energie über den Tagesverlauf hinweg erstellt werden. Bei Überdeckungen (zu viel Strom im Netz) können dann einige Anlagen vom Netz genommen werden, bei Unterdeckungen (zu wenig Strom im Netz) können dementsprechend Anlagen hinzugeschaltet werden. Weiter kann über das VPS-Managementsystem auch der Erfolg- und Misserfolg der Ausbalancierung gemessen werden. Im Rahmen des nutzerseitigen Managements werden auf Basis der Überdeckungszeiträumen Preisimpulse berechnet, welche zu einer Lastverschiebung führen sollen. Es werden zeitvariable Strompreismodelle errechnet, welche zusammen mit weiteren Feedbackmöglichkeiten (wie das direkte Steuern von Smart Home Hardware) das Nutzungsverhalten dem Stromangebot anpassen. Um dies effizient umzusetzen, musste auf der Verbraucherseite ein System entwickelt werden, welches die direkte Schaltung und Weiterleitung dieser Anreize und die Abrechnung der variablen Strompreismodelle für den Stromerzeuger (AÜW) ermöglichten. Besonders die Berechnung der Folgetagtarife musste neu entwickelt werden, da es ein vergleichbares System zuvor noch nicht gegeben hat (Herz 2017 mündlich)

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bedarf an nutzerseitigen technischen Anpassungen für den Betrieb eines VPS: Kunden benötigten technische Hardware (zum Beispiel Smart Meter) um an dem Pilotversuch teilnehmen zu können. Weiterhin müssen Kunden in die korrekte Nutzungsweise der neuen Hardware eingewiesen werden.
- Bedarf an neuen technischen Entwicklungen um verschiedene vorhandene Technologien miteinander zu kombinieren (vor allem Middleware): Die grundlegenden Technologien, welche beim VPS Allgäu verwendet wurden, waren keine neuen Entwicklungen. Beispielsweise sind die Technologien (wie etwa Photovoltaik Anlagen), mit welchen der benötigte Strom erzeugt wurde, schon erprobt und werden häufig in ganz Deutschland verwendet. Allerdings war die Verbindung der Technologien zum Zeitpunkt der Planung neu und bedurfte neuer technologiescher Entwicklungen. So musste eine eigene Software programmiert werden, welche automatisch neue Strompreise errechnete, welche Preissignale setzte um den Stromverbrauch der Stromerzeugung anzupassen.
- Notwendigkeit für neue Markt- und Geschäftsmodelle, weil sich aus wirtschaftlicher Sicht die Gegebenheiten ändern: Gegenüber dem Betrieb einzelner Anlagen fallen beim Zusammenschluss zu einem virtuellen Kraftwerk Zusatzkosten für die Steuerung und Überwachung der Anlagen an, die in den Geschäftsmodellen berücksichtigt werden müssen (Schmidt et al. 2016). Virtuelle Kraftwerke sind über den Zusammenschluss flexibler Erzeuger in der Lage Flexibilität bereitzustellen. Andererseits werden in virtuellen Kraftwerken auch volatile Erzeuger integriert, wodurch auch auf Verbraucherseite Flexibilität benötigt wird. Daher müssen die Geschäftsmodelle in der Lage sein, sowohl die bereitgestellte Flexibilität auf Erzeugungsseite, als auch auf Lastseite entsprechend zu vergüten. Da in virtuellen Kraftwerken verschiedenste

Anlagengrößen gekoppelt werden können, müssen die Geschäftsmodelle entsprechend skalierbar sein, um auch die Integration von kleinen Anlagen zu ermöglichen. Es müssen zudem die Besonderheiten der verschiedenen Anlagen entsprechend berücksichtigt werden (Schmidt et al. 2016). Grundsätzlich gibt es Vermarktungsmöglichkeiten, aber hauptsächlich für überregionale und große Kraftwerke (ebd.), nicht aber für lokale und dezentrale Stromerzeugung.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Erstellung einer detaillierten Planung zur technischen Umsetzung des VPS Allgäu: Vor dem Beginn des späteren Pilotversuches des VPS Allgäu wurde ein detaillierter Plan erarbeitet. In diesem Plan wurden zum einen die technischen Fragen konkretisiert und beantwortet. Beispielsweise wurde die Gesamtstromerzeugungsmenge und die Zahl der Stromabnehmer (Referenzkunden) festgelegt. Gleichzeitig wurden neue Produkte zur Kopplung der Stromerzeugung mit der Stromabnahme entwickelt, um einen reibungslosen Ablauf des Pilotversuches zu garantieren.
- Zusammenarbeit von AÜW und wissenschaftlichen Partnern der NTK für die Erarbeitung des Implementierungsplans für ein (modellhaftes) VPS Allgäu.

2.6 Entwicklungsmoment #6: Auswahl und Gewinnung der Referenzkunden (2009)

Als ein weiterer Teil der Vorbereitungen des Feldversuchs mussten die Referenzkunden ausgewählt und zur Teilnahme gewonnen werden. Dabei erwies sich die vorhandene Kundennähe des Energieversorgers AÜW und das vorhandene Vertrauen dieser Kunden in das Unternehmen als hilfreich (Herz 2017 mündlich). Weiter war die hohe Präsenz des geplanten Feldversuchs in den regionalen Medien ein weiterer positiver Faktor (AlpEnergy 2014).
Trotzdem war die Akquise der Referenzkunden nach wie vor aufwendig. Zunächst wurden 809 bestehende Kunden des AÜW angeschrieben und um Teilnahme gebeten. Die angeschriebenen Haushalte wurden anhand repräsentativer Kriterien ausgewählt, welche das Ziel hatten, eine der durchschnittlichen Kundenstruktur des AÜW gleichende Versuchsgruppe abzubilden. 206 Haushalte willigten ein, an dem Versuch teilzunehmen. Weitere 44 Privat- und Gewerbekunden konnten über eine Telefonaktion gewonnen werden (AlpEnergy 2011). Die spätere Einteilung der Referenzkunden in verschiedene Versuchsgruppen stellte sich als aufwendig heraus, da es Unterschriften und aufwändiger Erklärungen des Feldversuchs bedurfte.
Vor den Akquisebemühungen der AÜW war das Interesse an dem Feldversuch und der VPS Technologie im Allgemeinen im Allgäu auf ein Fachpublikum begrenzt. Vor der Durchführung des Feldtests führte der AÜW eine öffentliche Umfrage durch: 75% der Befragten kannten den Begriff Smart Grid und seine Implikationen nicht (Albrecht et al. 2011). Es wurde von der AÜW und der Allgäu GmbH parallel zur Gewinnung der Referenzkunden eine breit angelegte Werbekampagne durchgeführt, die das Thema Smart Grid und VPS in der Region und darüber hinaus überregional der Öffentlichkeit vorstellte (AlpEnergy 2011).

Die Kampagne beinhaltete:

- Berichterstattung im AÜW Kundenmagazin „AllgäuStromMagazin“,

- Informationsveranstaltungen für die ausgewählten Referenzkunden,
- Presseartikel für die regionalen Medien über das geplante Pilotvorhaben,
- Beiträge im regionalen und bayrischen Fernsehen,
- Eine eigene Konferenz „AlpEnergy meets E-Energy“ im Mai 2009 in Kempten,
- Vorträge bei Kongressen, Messen und Vortragsreihen,
- Eine online zugängliche interaktive Simulation in Visualisierung des Wandels von einem herkömmlichen zu einem virtuellen Stromversorgungssystem im Allgäu (www.alpenergy-visualisierung.de).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Marktgröße und Kundennähe der AÜW: bietet viele Ansatzpunkte der Referenzkundenakquise.
- Unbekanntheit von Smart Grids: Vor den Akquisebemühungen der AÜW war das Interesse an dem Feldversuch und der VPS Technologie im Allgemeinen im Allgäu auf ein Fachpublikum begrenzt und deren Implikationen bei den Nutzern erhöhte die Komplexität der Gewinnung der Referenzkunden.
- Große Medienpräsenz des AlpEnergy Vorhabens: erhöht die Sichtbarkeit des Pilotvorhabens.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Breit angelegte Öffentlichkeitsarbeit zur Bekanntmachung des Pilotvorhabens: Um das Pilotvorhaben in der Bevölkerung und öffentlichen Einrichtungen bekannt zu machen und Referenzkunden zu gewinnen, wurde Öffentlichkeitsarbeit betrieben. Diese wurde durch den regionalen Beirat unterstützt.
- Strategische Akquisetätigkeiten: Um Referenzkunden zu gewinnen wurde einerseits auf das Kundennetz der AÜW zurückgegriffen und andererseits breit angelegte Akquisetätigkeiten durchgeführt. Die spätere Einteilung der Referenzkunden in verschiedene Versuchsgruppen stellte sich als aufwendig heraus, da es Unterschriften und aufwändiger Erklärungen des Feldversuchs bedurfte.
- Positionierung des VPS-Vorhabens als Pilotprojekt: erhöhte die Medienpräsenz.

2.7 Entwicklungsmoment #7: Durchführung des Pilotversuchs „VPS Allgäu“ (Herbst 2009 – Ende 2011)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Nach der sorgfältigen Planung wurde ab Herbst 2009 der Pilotversuch des VPS Allgäu durchgeführt. Nach der Installation der Smart Meter Technik im Zeitraum Herbst 2009 – Frühjahr 2010 wurden über das gesamte Jahr 2010 Verbraucherdaten von den Referenzkunden und Erzeugerdaten in der Region gemessen, um eine Kontroll-Messung für die spätere Implementierung des VPS zu erhalten. Die Auswahl der Smart Meter-Technologien stellte sich als kompliziert heraus. Es musste zwischen zwei verfügbaren Systemen eines ausgewählt werden, welches sich aus technischer Sicht am besten in das Gesamtsystem integrieren ließ. Allerdings gab es aufgrund fehlender Datenstandards kein einzelnes System, welches alle

technischen Anforderungen erfüllen konnte. Deshalb wurden zwei verschiedene Systeme in den Testhaushalten installiert: Sowohl das AMIS System von Siemens (Datenübermittlung via Power Line Technologie) als auch das Iscraemeco System der Lackmann GmbH (Datenübermittlung via GPRS) kamen zum Einsatz.
Das Messdatenverwaltungssystem (Middleware) wurde für alle Pilotversuche von AlpEnergy im Jahr 2009 mit den Firmen EVB Energy Solutions und Energy4U entwickelt und implementiert. Die Software wurde durch ein VPS-Managementsystem erweitert, welches aus zwei Modulen besteht: Ein Prognose- und ein Steuermodul.[15]
Die Lieferung und technische Verzahnung der Smart Meter und der Middleware stellten sich als problematisch heraus: Bei der Auswahl und Implementierung der verschiedenen Systeme stellte sich heraus, dass die Systeme aufgrund fehlender Mess- und Datenstandards miteinander inkompatibel waren. Dies führte zu Verzögerungen und Qualitätsproblemen bei den Messungen. Die Messung und Kommunikation der Daten blieben über den gesamten Versuchsverlauf problematisch, da sowohl das System von Siemens als auch das von Lackmann nicht zuverlässig operierten (Herz 2017, mündlich). Die Fehlerprotokollierung und die Korrektur dieser Messfehler stellte sich bis zum Ende des Pilotversuchs als zeitintensiv heraus. Da viele verschiedene Partner an dem Feldversuch beteiligt waren, mussten viele technische und organisatorische Schnittstellen überwacht werden, was zum erhöhten Zeitaufwand beitrug. Diese verschiedenen Herausforderungen führten zu zeitlichen Verzögerungen, allerdings war das VPS Allgäu, wie zuvor geplant, zum 01.01.2011 einsatzbereit.
Zum Start des Testlaufs des VPS Allgäu wurden im Jahr 2011 die Referenzkunden in das System integriert. Da das Gesamtprojekt von AlpEnergy nachträglich bis zum Ende des Jahres 2011 verlängert wurde, konnten die Messungen des Feldversuchs im Allgäu von den ursprünglich geplanten sechs Monaten auf ein ganzes Jahr verlängert werden (Albrecht et al. 2011).

Die Referenzkunden wurden in drei Versuchsgruppen unterteilt, in denen verschiedene Einflüsse auf den Verbrauch gemessen werden sollten:

- „***Kundengruppe 1*** *(Transparenz und Information) erhielt lediglich transparente Aufbereitungen des personifizierten Energieverbrauchs. Zum einen wurden die Daten des Smart*
  Meters über das Webportal aufbereitet, zum anderen erhielten die Kunden monatlich per Post einen Informationsbrief, der die abgenommene Energiemenge des Vormonats darstellte („Verbrauchstransparenz“). So konnte getestet werden, wie Kunden auf einen Smart Meter und das dadurch mögliche transparente Verbrauchsfeedback reagieren, beziehungsweise ob die Technik akzeptiert wird und als Folge der erhöhten Transparenz Energie einspart wird.
- *Kundengruppe 2 (statisches Preismodell) hatte zusätzlich zu den neuen Informationsdiensten auch die Möglichkeit, ein statisches Strompreismodell zu testen. Dieses beinhaltet von der jeweiligen Jahreszeit abhängige Sparzonen und eine*

[15] Für weitere Informationen siehe Albrecht et al. (2011).

Honorierung über einen
Bonus. Hier sollte festgestellt werden, ob die Haushalte im Vergleich zum Vorjahr Verbrauch in günstigere Zeiten verlagern – nämlich solche, in denen die höchste regenerative Einspeisung erwartet werden kann (derzeit stark getrieben von der Photovoltaik Einspeisung). Zudem wurden die Kunden im Jahr 2011 monatlich abgerechnet, die gewährten Gutschriften wurden verrechnet.

- ***Kundengruppe 3*** *(dynamisches Preismodell) sollte zusätzlich zu den transparenten Verbrauchsinformationen ein komplexeres, dynamisches Strompreismodell testen, das auch*
  kurzfristige Prognosen in die Preisbildung mit einbezieht und so Schwankungen im System zeitgenauer balancieren kann. Die Preisbildung soll hier anhand der residualen Last
  innerhalb des VPS gelingen: Wird übermäßig viel erneuerbarer Strom in der Region produziert, so ist der Verbrauch besonders günstig. Reicht die regionale Erzeugung laut Prognose nicht aus, um den Verbrauch zu ermöglichen, wird Strom (theoretisch) teurer (auf diesen Malus, den die Kunden tragen müssten, wurde im Projekt bewusst verzichtet).
  Die täglich veränderten Sparzonen können über das Webportal eingesehen werden. Einige Kunden erhielten zusätzlich Smart-Home-Komponenten, die die aktuelle Sparzone
  anzeigen und eine beschränkte Zahl von Hausgeräten abhängig vom Preis automatisiert schalten können. Zudem wurden die Kunden im Jahr 2011 analog zur Kundengruppe 2 monatlich abgerechnet, die gewährten Gutschriften wurden verrechnet.“ (Albrecht et al. 2011; S. 16-17)

Die Einführung verschiedener Tarife brachte rechtliche und organisatorische Herausforderungen mit sich (beispielsweise Kollisionen mit zuvor vertraglich zugesicherten Strompreisen). Daher behielten alle Teilnehmer des Versuchs ihre Originalstrompreismodelle und wurden auch weiterhin darüber abgerechnet. Die statischen und dynamischen Strompreismodell-Kundengruppen (2 und 3) bekamen zusätzliche Gutschriften, welche dann monatlich von der Strompreisrechnung abgezogen wurden. Somit war ein höherer Strompreis als der vertraglich zugesicherte Preis ausgeschlossen; die versuchsdurchführenden Unternehmen und die Abnehmer waren dadurch rechtlich abgesichert.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Fehlende Datenstandards und Kenntnisse über technische Anforderungen von Smart Meter-Technologien: Aufgrund fehlender Datenstandards gab es kein System, welches sich aus technischer Sicht am besten in das Gesamtsystem integrieren ließ. Es gab auch kein einzelnes System, welches alle technischen Anforderungen erfüllen konnte. Dies führte zu Schwierigkeiten und Verzögerungen bei der Auswahl der Smart Meter-Technologien sowie zu Verzögerungen und Qualitätsproblemen bei den Messungen.

- Unzuverlässige technische Messungen und Datenkommunikationen: Während des Pilotversuches ergaben sich Kommunikationsprobleme zwischen den Smart Metern und der Middleware. Dadurch konnten durch lückenhafte Datensätze nicht das gesamte Nutzungsverhalten aufgezeichnet werden. Die Messung und Kommunikation der Daten blieben über den gesamten Versuchsverlauf problematisch, und bedurfte erhöhtem Zeitaufwand.
- Viele organisatorischen und technischen Schnittstellen: Während des Pilotversuches ergaben sich viele organisatorische Schnittstellen zwischen Kunden, der AÜW, der NTK, und regionalen Akteuren aus dem Allgäu. Dies führte zu einem erheblichen Aufwand, alle Partner während der Versuchsdurchführung miteinander zu koordinieren und resultierendes Wissen untereinander auszutauschen.
- Kollision der organisatorischen Anforderungen eines VPS mit bestehenden preislichen Zusagen: Alle Referenzkunden waren schon vor dem Pilotversuch Kunden bei der AÜW und besaßen vertraglich festgelegte (stabile) Strompreisgarantien. Daher war es nicht möglich, den Kunden direkt einen variablen Strompreis zuzusagen. Es musste daher mit einem Guthabensystem gearbeitet werden. Falls Stromkunden Energie während der Mittagsspitzen verbrauchten, bekamen sie die Preisersparnis zu ihrem herkömmlichen Stromtarif gutgeschrieben und konnten diese mit späteren Strompreisabrechnungen verrechnen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Anpassungen und Ausprobieren mit der Technologie: Während der Versuchsdurchführung ergaben sich einige technische Probleme, welche in der Planung nicht vorhersehbar gewesen sind. Daher mussten die Pläne während der Versuchsdurchführung mehrmals angepasst werden, um mit den Problemen umgehen zu können. Um mit den auftretenden Schwierigkeiten bezüglich der Technologien umzugehen, wurden zeitintensive Fehlerprotokollierungen und Anpassungen vorgenommen. Beispielsweise wurde eine neue Software erarbeitet, um die verschiedenen existierenden Technologien miteinander kompatibel zu machen.
- Vermittlung, Verbindung und Überwachung von technischen und organisatorischen Schnittstellen.
- Einführung eines Guthabensystems zum Umgehen von Kollisionen mit bestehendem Recht der Preisbildung.

2.8 Entwicklungsmoment #8: Auswertung des Pilotversuchs (2011-2012)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Der Feldversuch lief über das gesamte Jahr 2011 erfolgreich und wurde wie geplant zum Dezember 2011 beendet. Der Versuch wurde durchlaufend und nach Abschluss im Jahr 2012 ausgewertet. Die Auswertung des Pilotversuchs ergab, dass das Nachfrage-Management, welches durch die Smart Meter und die Softwarelösungen durchgeführt wurde, die Ziele der Energieeinsparung und Ausbalancierung zur gleichzeiteigen Stromverfügbarkeit erreicht hatte. Allerdings waren diese Effekte je nach Versuchsgruppe unterschiedlich stark ausgeprägt: Bei

den Kundengruppen mit dem statischen Preismodell (Gruppe 2) und dem dynamischen Modell (Gruppe 3) betrug das Lastverschiebungspotenzial 2% respektive 1% verglichen mit den Kontrollwerten aus dem Jahr 2010 (Albrecht et al. 2011). Die Kontrollgruppe 1, welche nur die Informationen über den Stromverbrauch erhielt (aber keine Preisanreize), erreichte kein Lastverschiebungspotenzial.
Bei den Referenzkunden stieß vor allem das Smart Home System auf Interesse. Dies ist belegt durch zahlreiche Rückmeldungen während des Tests. Neben der Automatisierung der Endgeräte sahen die Kunden den größten Nutzen der Smart Home Komponenten in der Transparenz des Energieverbrauchs ihrer Geräte.
Die Umsetzung des Versuches wurde von zahlreichen technologischen Problemen begleitet. Die Kommunikationsprobleme zwischen den Smart Metern und der Middleware führten abteilungsübergreifend (Zählerabteilung, Abrechnung, IT, Callcenter) zu einem erheblich höheren Arbeitsaufwand als ursprünglich angenommen. Ein weiteres Problem ergab sich aus dem Einsatz intelligenter Steckdosen: Die Haushaltsgeräte bei den Referenzkunden wurden mit diesen automatisierten Steckdosen ausgestattet, um den Stromverbrauch und die Nutzung der Geräte (und das resultierende Lastverschiebungspotenzial) zu messen. Dabei führten weitere technische Kommunikationsprobleme (die Übertragung der dynamischen Preiszeitreihen an die Smart Home Komponenten) dazu, dass im Nachhinein tatsächliche Lastverschiebung nicht einwandfrei den Preissignalen zugeordnet werden konnten. Resultierend aus diesen Problemen fordern die beteiligten Organisationen eine „Interoperabilität gewährleistende Standardisierung der VPS-Technologien“, um einen positives Rollout der Technik zu ermöglichen (Albrecht et al. 2011; S. 25).
Anfangs war es auch geplant im Rahmen von AlpEnergy die Einsatzmöglichkeiten von Elektroautos zur Lastverschiebung zu testen.[16] Dieser Test war allerdings im Rahmen von AlpEnergy nicht möglich, da Elektroautos im Allgäu im Jahr 2011 noch nicht vorhanden gewesen sind. Diese Option wurde aber in dem anschließenden Folgeprojekt IRENE (Integration regenerativer Energien und Elektromobilität, ab 2012) im Allgäu von den AlpEnergy Partnern getestet (Herz 2017, mündlich).
Neben dem Fehlen von technischen Standards und ausgereifteren Technologien am Markt zur reibungsfreien Umsetzung eines VPS haben die Partner auch ein Fehlen von datenschutzrechtlichen Grundlagen festgestellt. Diese datenschutzrechtlichen Belange sind besonders wichtig, um den Verbrauchern einen sicheren Umgang mit ihren spezifischen Daten garantieren zu können (Albrecht et al. 2011).
Weiter wurde festgestellt, dass die Einführung neuer Energiesysteme gesellschaftlich schwierig ist. Es zeigte sich zum Einen als schwierig, Kunden für ein solches Thema zu mobilisieren und, zum anderen, haben interessierte Kunden Probleme, die neuen Technologien fachgerecht zu bedienen und zu verstehen (AlpEnergy 2011). Ein Fazit war daher, dass Energieversorger den Kunden fachgerecht zur Seite stehen sollten, wenn sie ein solch neuartiges System auf den Markt bringen. Weitere Akteure, wie Kommunen und Spezialisten, sollten laut den AlpEnergy Partnern in eine solche Entwicklung mit einbezogen werden, um so einem flächendeckenden

[16] Elektroautos können bei Stillstand während Überladungen im Stromnetz geladen werden, um das Netz zu entlasten.

„Wandel Glaubwürdigkeit zu verleihen und den Lernprozess auf politischer Ebene zu unterstützen und eine Einordnung der Anstrengung in weiter gefasste Nachhaltigkeitsstrategien zu erreichen“ (Albrecht et al. 2011; S. 26). In dem Fall des VPS Allgäu wurde eine solche Einbettung in eine weitere Nachhaltigkeitsstrategie durch den VPS-Masterplan vorgenommen. Ein weiterer Änderungsbedarf bestand nach dem Feldversuch beim regulatorischen Rahmen eines nachhaltigen Energiesystems. Der Versuch zeigte, dass unter den damaligen rechtlichen Rahmenbedingungen sowohl Energieerzeuger als auch Betreiber dezentraler Anlagen keine Anreize haben, diese neuen Geschäftsmodelle zu erproben. Beispielsweise steht dem flexiblen Strompreismodell, welches in dem Feldversuch erprobt wurde, die garantierte Einspeisevergütung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Wege. Weiter machen es die rechtlich begrenzten Optionen der Tarifgestaltung es Energieversorgern unmöglich, Nutzen aus der Einrichtung eines VPS zu ziehen und diese Nutzen an ihre Kunden weiterzureichen. Daher müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen der Preisbildung stark verändert werden, um ein VPS rechtlich zu ermöglichen (Karg, Kleine-Hegermann, und AlpEnergy 2011).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Kunden reagieren eher auf Preissignale als Information: Lastverschiebungspotenziale ergeben sich nur durch Preissignale, nicht durch Information alleine. Der Referenzkundengruppe 1 wurden keine Preissignale zur Verfügung gestellt, sondern nur Information über ihren Stromverbrauch. In dieser Gruppe konnte keine nutzerseitige Lastverschiebung festgestellt werden. Daher wurde geschlussfolgert dass nur Preissignale einen ausreichenden Anreiz für Kunden bieten, ihre Stromverbrauchsmuster zu verändern.
- Fehlen von (technischen) Datenstandards: Dies erschwert eine reibungslose Kommunikation zwischen den verschiedenen Komponenten.
- Abwesenheit von Elektroautos im Allgäu: eliminierten die Möglichkeit der Lastverschiebung durch E-mobilität.
- Nutzer unterstützen Smart Home Technologien: Die Verfügbarkeit von detaillierten Nutzungs- und Verbrauchsdaten der verschiedenen Haushaltsgeräte kommen gut bei Nutzern an und werden genutzt.
- Nicht ausreichend datenschutzrechtliche Grundlagen um Sicherheit von Nutzerdaten zu garantieren.
- Kein regulatorischer Rahmen und keine finanzielle Anreize für Energieversorger für einen Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem: Der Versuch zeigte, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen der Preisbildung stark verändert werden müssen, um ein VPS rechtlich zu ermöglichen.
- Begrenztes nutzerseitiges Interesse und Wissen: Kunden sind nur schwierig für ein neues Stromsystem zu mobilisieren und haben Schwierigkeiten mit dem Umgang mit der neuartigen Technologie.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Ausführliche Auswertung des Pilotversuchs: Der Pilotversuch wurde gründlich bewertet und es wurden verschiedene Schlussfolgerungen gezogen bezüglich technischer, rechtlicher und sozio-kultureller Anforderungen. Es wurden auch Richtlinien erarbeitet für Akteure, welche ein ähnliches System aufbauen möchten.
- Bereitstellung der Analyse für die Öffentlichkeit.

2.9 Heutiger Stand

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Das VPS Allgäu wurde nach Beendigung des Feldtests Ende 2011 zum 01.01.2012 deaktiviert. Als zentraler Grund wurde besonders die technische Anfälligkeit des Systems genannt. Die Technologie in dem Feld von Smart Grids entwickelt sich schnell weiter, daher schien es zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Feldversuchs nicht sinnvoll das System weiter zu betreiben (Tampieri et al. 2014). Zweitens, die für AlpEnergy benutzte Technologie führte zu einer Stromeinsparung von maximal 2%. Das wird nicht als effektiv genug bewertet, um ein gleichartiges System zugunsten von Stromeinsparungen weiter zu betreiben (Tampieri et al. 2014). Der dritte Grund war die Schwierigkeit Kundenpräferenzen zu finden: Durch AlpEnergy wurde erkannt, dass Stromkunden im Alpenraum einfache Systeme bevorzugen. Beispielsweise wurden einfache Strompreiszeiten (wie zum Beispiel eine „Billigstromzeit“ täglich von 11 bis 15 Uhr) im Gegensatz zu stündlich oder minütlich wechselnde Systeme (wie im VPS Allgäu getestet) beliebter und besser genutzt. Es wurde außerdem festgestellt, dass Kunden eine Energieunabhängigkeit (wie eigene PV-Anlagen) über dynamische (möglicherweise billigere) Strompreise bevorzugen (Tampieri et al. 2014).
Allerdings führte das erreichte Lastverschiebungspotenzial von bis zu 2% bei flexiblen Tarifen dazu, dass die an dem Vorhaben involvierten Partner weitere Möglichkeiten der Lastverschiebung untersuchten. Daher folgte auf das AlpEnergy Vorhaben eine weitere Forschungskooperation im Allgäu: AlpStore (ab 2014). Dieses Forschungsvorhaben (unter anderem durchgeführt durch die AÜW) testete die Möglichkeiten von Photovoltaik-Stromspeichern in der Praxis. Ähnlich wie bei AlpEnergy können Verbraucher besonders energieintensive Geräte immer dann anschalten, wenn genug Energie (entweder direkt von der PV-Anlage oder aus dem Speicher) vorhanden ist (AÜW 2014). Weitere Forschungsvorhaben, welche durch die Ergebnisse von AlpEnergy (direkt oder indirekt) angestoßen wurden waren: Integration Regenerativer Energien und Elektromobilität (IRENE), IREN2 (Folgeprojekt von IRENE), econnect (Elektromobilität und Smart Home) (Herz 2017 mündlich; Ansbacher 2017 mündlich)

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:
- Viele technische Alternativen an Smart Grids zu VPS: Ein VPS ist nicht die einzige Option um die Stromversorgungsprobleme im Alpenraum zu lösen. Daher arbeiten verschiedene Akteure (Stromversorger, Wissenschaftler, Zulieferer) an verschiedenen weiteren technischen Möglichkeiten, um die Probleme zu lösen.
- Potential der Lastverschiebung: Das Lastverschiebungspotential aus AlpEnergy weist auf weitere Forschungsmöglichkeiten zu effektiver Lastverschiebung.

- Bestehende Kooperationen zwischen Partnern in der Region: Die Ergebnisse und bestehende Kooperationen von AlpEnergy stoßen neue Forschungsvorhaben an.
- Förderung von weiteren Forschungskooperationen.

Der heutige Stand wird von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Kommunikation und Verbreitung der Ergebnisse aus AlpEnergy.
- Weiterführen der Forschung an neuartigen Energiesystemen: Die Unternehmen und Akteure im Alpenraum setzen die Forschung fort und knüpfen an die Forschungsergebnisse von AlpEnergy an.

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Im folgenden Abschnitt untersuchen wir zunächst die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während den identifizierten Entwicklungsmomenten einen Effekt auf das Ergebnis des Projektes hatten, und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkung auf den Entwicklungspfad. Darauffolgend untersuchen wir die Handlungen und Rollen der involvierten Akteure, und wie diese mit den gegebenen Einflussfaktoren umgegangen sind. Tabelle 16 bietet eine Übersicht über die verschiedenen Veränderungsdynamiken während der Entwicklungsmomente.

Tabelle 16: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad des VPS Allgäu

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Geburt der Projektidee (ca. 2007)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung):* Erzeugung regenerativer Energie als Tradition im Allgäu	*Unterstützend:* ermöglicht gute Umsetzungsvoraussetzungen	*Strategischen Richtungssetzung (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Neue Zielsetzung bei den AÜW: langfristige Nachhaltigkeits- und Innovations-Ziele bis 2020 mit Fokus auf Innovations- und Kundenorientierung bezüglich des strategischen Ausbaus von Erneuerbaren Energien. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformative Aktivitäten):* Auslotung der Möglichkeiten regenerativer Energiequellen im Allgäu durch Studien (z.B. PEESA). *Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Sektor-übergreifende Kooperation zwischen AÜW (Energieversorger), B.A.U.M. Consulting Group (ein bundesweit operierendes Beratungsunternehmen mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit) und
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Bestärkter Willen zum Klimaschutz	*Unterstützend:* Klimaschutz wird global verstärkt gefördert	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Notwendigkeit zur Koordinierung von EE-Erzeugung und Bedarf	*Unterstützend:* treibt Interesse an der Erschließung neuer Technologien	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Forschung und technischer Fortschritt in Bezug auf die Energiewende	*Unterstützend:* schafft breite Wissensbasis für neue Technologien	
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Identifikation guter Voraussetzungen für regenerative Energie in den Alpen	*Unterstützend:* die lokalen Gegebenheiten begünstigen regenerative Energieerzeugung	
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Regionalisierung der Energiewirtschaft	*Unterstützend:* fördert Interesse insbesondere an regionaler Stromversorgung und -unabhängigkeit	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Bedarf neuer Stromsysteme aufgrund der lokalen topografischen Gegebenheiten im Allgäu	*Unterstützend:* fördert die Implementierung innovativer Stromsysteme im Allgäu	Allgäu GmbH (Gesellschaft für Standort und Tourismus in der Region) um weitere Erkenntnisse für den optimalen Netzausbau zu gewinnen.
#2: Teilnahme am INTERREG IV-B Programm AlpEnergy (2008)	*Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen):* Technische Nischenentwicklung zu virtuellen Kraftwerken	*Unterstützend:* bietet Alternativen zur existierenden Regime-Infrastruktur zur Lösung von Herausforderungen des Allgäuer Stromsystems	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Gewinnung von Fördergeldern für Forschungsvorhaben. Bewerbungen zur Teilnahme an nationalen und internationalen Forschungs- und Innovationsvorhaben im Bereich der Energiegewinnung durch die Kooperation. *Skalen- und ressortübergreifenden Mediation (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Bildung einer internationalen Forschungskooperation zwischen verschiedenen Partnern im gesamten Alpenraum.
	Anreize und Regulierungen: Fördergelder durch europäische Länder-Kooperation (INTERREG und Europäischer Fond für regionale Entwicklungen)	*Unterstützend:* bietet finanzielle Förderung für das VPS Allgäu	
#3: Netzwerkbildung zur Planung eines VPS-Pilotprojektes im deutschen Alpenraum (2009)	*Lokale institutionelle Strukturen:* Bestehende Kooperationen von Unternehmen in der Region	*Unterstützend:* sektor-übergreifende Verfolgung eines Zieles (Nachhaltigkeit)	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformative Aktivitäten):* Netzwerkbildung für die Planung und Umsetzung eines Pilotvorhabens im deutschen Alpenraum. *Skalen- und ressortübergreifenden Mediation*

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			(Orchestrierungs-Aktivitäten): Sektor-übergreifende Kooperation zwischen AÜW (Energieversorger) und Allgäu GmbH (Tourismus) zur Interessenmediation. *Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformative Aktivitäten):* Organisatorische Anpassungen in der Unternehmensstruktur des AÜW.
#4: Erstellung eines Masterplans (2009)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Potentiale für die Umsetzung erneuerbarer Energie in der Region	*Unterstützend:* bietet Potential für die Umsetzung des VPS Allgäu	*Strategischen Richtungssetzung (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Erstellung eines Masterplans zur langfristigen Koordinierung verschiedener Maßnahmen der Projektpartner. *Skalen- und ressortübergreifenden Mediation (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Interessenmediation zur Vereinbarung und Koordinierung der unterschiedlichen Ziele der Projektpartner.
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Nachhaltigkeitsstrategien im Allgäu	*Unterstützend:* Pläne für VPS können an breitere Nachhaltigkeitsstrategie der Region angebunden werden	*Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformative Aktivitäten):* Verbreitung des Pilotvorhabens und Masterplans unter Akteuren der Kommunalpolitik, örtlich ansässigen Firmen und Bildungseinrichtungen.

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Anbindung der Innovation an den Kontext (transformative Aktivitäten): Einbettung in die weitere Nachhaltigkeitsstrategie der Region Allgäu und Kempten.
#5: Detaillierte Planung zur Umsetzung des VPS Allgäu (2009)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Bedarf an nutzerseitigen technischen Anpassungen für den Betrieb eines VPS	*Hemmend:* erhöhter Implementierungsaufwand	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformative Aktivitäten):* Erstellung eines detaillierten Plans zur technischen Umsetzung des VPS Allgäu.
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Bedarf an neuen technischen Entwicklungen um verschiedene vorhandene Technologien miteinander zu kombinieren (v.a. Middleware)	*Hemmend:* erhöhter Forschungs- und Entwicklungsaufwand	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformative Aktivitäten):* Zusammenarbeit von AÜW und wissenschaftlichen Partnern der NTK für die Erarbeitung des Implementierungsplans für ein (modellhaftes) VPS Allgäu.
	Institutionelle Faktoren: Notwendigkeit für neue Markt- und Geschäftsmodelle	*Hemmend:* Bisherige Vermarkungsmodelle ermöglichen keine Abrechnung des Stroms	
#6: Auswahl und Gewinnung der Referenzkunden (2009)	*Institutionelle Faktoren:* Marktgröße und Kundennähe der AÜW	*Unterstützend:* vereinfacht die Gewinnung von Referenzkunden	*Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformative Aktivitäten):* Breit angelegte Öffentlichkeitsarbeit zur Bekanntmachung des Pilotvorhabens.
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Unbekanntheit von Smart Grids und deren Implikationen bei den Nutzern	*Hemmend:* erhöht die Komplexität der Gewinnung der Referenzkunden	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Große Medienpräsenz des AlpEnergy Vorhabens	*Unterstützend:* erhöht die Sichtbarkeit des Pilotvorhabens	*Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformative Aktivitäten):* Strategische Akquisetätigkeiten um Referenzkunden zu gewinnen.

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformative Aktivitäten): Positionierung des VPS-Vorhabens als Pilotprojekt erhöht Medienpräsenz.
#7: Durchführung des Pilotversuchs „VPS Allgäu" (Herbst 2009 – Ende 2011)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Fehlende Datenstandards und Kenntnisse über technische Anforderungen von Smart Meter-Technologien	*Hemmend:* erhöht Fehleranfälligkeit des Systems	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformative Aktivitäten):* Anpassungen und Ausprobieren mit der Technologie
	Lokale institutionelle Faktoren: Viele organisatorischen und technischen Schnittstellen	*Hemmend:* erhöht organisatorischen Aufwand	*Skalen- und ressortübergreifenden Mediation (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Vermittlung, Verbindung und Überwachung von technischen und organisatorischen Schnittstellen.
	Lokale institutionelle Strukturen: Kollision der organisatorischen Anforderungen eines VPS mit bestehenden preislichen Zusagen	*Hemmend:* verringert Praktikalität des VPS	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformative Aktivitäten):* Umgehung von Kollisionen mit bestehendem Recht der Preisbildung durch Einführung eines Guthabensystems.
#8: Auswertung des Pilotversuchs (2011 – 2012)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* Kunden reagieren eher auf Preissignale als Information	*Hemmend:* Nutzerverhalten ist nur unter bestimmten Bedingungen veränderbar	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformative Aktivitäten):* Ausführliche Auswertung des Pilotversuchs

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Fehlen von (technischen) Datenstandards	*Hemmend:* erhöht Fehleranfälligkeit und administrativen Aufwand der Versuchsdurchführung	und Erstellung von möglichen Richtlinien für Akteure, welche ein ähnliches System aufbauen möchten. *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformative Aktivitäten):* Bereitstellung einer ausführlichen Analyse des Pilotversuchs für die Öffentlichkeit.
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Abwesenheit von Elektroautos im Allgäu	*Hemmend:* eliminieren die Möglichkeit der Lastverschiebung durch E-mobilität	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderung): Nutzer unterstützen Smart Home Technologien	*Unterstützend:* Daten werden genutzt	
	Lokale institutionelle Faktoren: Nicht ausreichend datenschutzrechtliche Grundlagen um Sicherheit von Nutzerdaten zu garantieren	*Hemmend:* kein Schutz für Kundendaten	
	Anreize und Regulierungen: Kein regulatorischer Rahmen, welcher ein nachhaltiges Energiesystem ermöglicht (Kollisionen mit EEG)	*Hemmend:* Keine finanzielle Anreize für Energieversorger für einen Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Begrenztes nutzerseitiges Interesse und Wissen für ein neues Stromsystem	*Hemmend:* erschwert Kundengewinnung für ein VPS und deren Umgang mit der Technologie	
Heutiger Stand: Weitere Forschungsprojekte	*Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen):* Viele technische Alternativen an Smart Grids zu VPS	*Hemmend:* machen eine Unterhaltung eines VPS zur Zeit unrentabel	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformative Aktivitäten):* Weiterführen der Forschung an neuartigen Energiesystemen: Die Unternehmen und Akteure im
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Potential der Lastverschiebung	*Unterstützend:* Anstoß neuer Vorhaben	

Entwicklungsmomente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Institutionelle Faktoren: Bestehende Kooperationen zwischen Partnern in der Region	*Unterstützend:* fördert weitere Forschungsvorhaben	Alpenraum setzen die Forschung fort.
	Anreize und Regulierungen: EU-Förderung von weiteren Forschungskooperationen	*Unterstützend:* fördert weitere Forschungsvorhaben	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierungs-Aktivitäten):* Weitere Forschungsvorhaben knüpfen an die Forschungsergebnisse von AlpEnergy an.

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Laufe des Entwicklungspfades kamen unterschiedliche Entwicklungsfaktoren zum Tragen, welche sich unterschiedlich auf die Umsetzung der Infrastrukturkopplung ausgewirkt haben. Besonders zu Anfang der Planungen der Infrastrukturkopplung kamen insbesondere positive Faktoren zum Tragen, welche eine Initialisierung eines solch innovativen technischen Vorhabens begünstigten. Im weiteren Verlauf der Umsetzung kamen schließlich mehr und mehr negative Faktoren zum Tragen, vor allem bezüglich der Integration eines neuen Stromversorgungssystem in das bestehende Regime der Stromversorgung und IKT im Allgäu.
Sozio-kulturelle Faktoren haben über die gesamte Umsetzungsdauer des Vorhabens eines VPS im deutschen Alpenraum eine wichtige Rolle gespielt. Besonders bei der Geburt der Projektidee spielte die lange Tradition regenerativer Energiequellen (zum Beispiel Wasserkraft) eine wichtige Rolle: Anders als in vielen anderen Gebieten Deutschlands wird Wasserkraft im Allgäu traditionell (verstärkt seit dem 19. Jahrhundert) als Energiequelle benutzt und ist somit fest im technischen und sozialem Regime in der Region verankert. Im weiteren Verlauf der Umsetzung kamen sozio-kulturelle Faktoren bei der Netzwerkbildung der verschiedenen Akteure zum Tragen. Sowohl bei Akteuren aus dem Markt, als auch aus der Politik war der Wille da, ein neues und innovatives Stromversorgungssystem zu planen und durchzuführen. Dies geschah aus unterschiedlichen Bewegungsgründen: Bei den Akteuren aus dem Markt, wie beispielsweise die B.A.U.M. Consulting Group, hat die Perspektive und der Test eines neuen Geschäftsmodelles eine wichtige Rolle bei der Entscheidung zur Teilnahme am Pilotversuch gespielt (Ansbacher 2017 mündlich). Im späteren Verlauf des Pilotversuchs wirkten sich sozio-kulturelle Faktoren zunehmend hemmend auf die Infrastrukturkopplung aus: Zum einen ist das Konzept eines VPS in der Bevölkerung unbekannt, zum anderen hat es sich als schwierig herausgestellt, ein Interesse bei der Bevölkerung herzustellen und Menschen für die erfolgreiche Umsetzung zu mobilisieren. Kunden hatten Schwierigkeiten mit dem Umgang mit der neuartigen Technik und verschoben ihren Stromverbrauch nur bei direkten Preisvorteilen, nicht aber durch Informationen zu einem nachhaltigeren Stromverbrauch alleine.
Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite) waren über den gesamten Pilotversuchsverlauf wichtig. Zu Beginn sahen die Voraussetzungen für eine technische Umsetzung der Infrastrukturkopplung gut aus: Die topographischen und meteorologischen Gegebenheiten im Allgäu sind günstig für die Gewinnung von nachhaltigem Strom durch Wind-, Sonnen- und Wasserkraft. Ferner standen marktfähige Technologien zur Umsetzung eines VPS im Allgäu bereit. Allerding waren für die Umsetzung des Stromversorgungssystem nutzerseitige technische Anpassungen notwendig, welche sich später hemmend auf den Versuchsverlauf auswirken sollten: Die installierte Smart Home Technik (Smart Meter, intelligente Steckdosen) war schlecht miteinander kompatibel, was zum einen zu Messfehlern führte, als auch zu Problemen bei der Nutzung der Technik. Weiter mussten die ursprünglichen Pläne den lokalen technischen Gegebenheiten angepasst werden: Elektroautos konnten nicht, wie vorhergesehen, zur Lastverschiebung benutzt werden, da es im Allgäu zur Versuchsumsetzung zu wenig Elektroautos im Umlauf gab. Letzten Endes führte die rasche technische Entwicklung im Bereich von nachhaltigen und innovativen Stromversorgungssystemen zu einer Abschaltung des VPS Allgäu nach Versuchsende.

Lokale institutionelle Faktoren wirkten sich meist hemmend auf den Versuchsverlauf aus. Zum einen führten die vielen Projektpartner des VPS Allgäus zu vielen organisatorischen und technischen Schnittstellen, was eine Koordination des Vorhabens schwierig gestaltete. Beispielsweise musste beim Auftreten von technischen Problemen zwischen Referenzkunden, Hardwareentwicklern und Projektpartnern vermittelt werden.*Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen)* wirkten insbesondere in der Startphase der Infrastrukturkopplung durch die breitere gesellschaftliche Nachhaltigkeitsbewegung in Deutschland und Europa (Energiewende etc.) positiv auf die Initialisierung des VPS Allgäu aus. Weiter führte das gemeinsame gesellschaftliche Interesse einer klimaresilienten und nachhaltigen Energieversorgung und ähnliche Energieproblematiken im Alpenraum zu der grenzübergreifenden Kooperation für AlpEnergy. Weiterhin trug die generelle Diskussion über nachhaltige Energien dazu bei, dass das Projekt durchgeführt wurde. Die Nutzung nachhaltiger Energiequellen innerhalb existierender Stromnetze führt dazu, dass die relativ stabile und vorhersehbare Stromverfügbarkeit konventioneller Energiequellen (zum Beispiel Kohle und Gas) durch die wechselhafte Stromverfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen abgelöst wird. Daher ist die Notwendigkeit gegeben, neuartige Stromversorgungssysteme zu entwickeln, welche diese Stromschwankungen besser steuern können.Da das VPS Allgäu als Modellprojekt durch AlpEnergy gefördert wurde, spielten Faktoren bezüglich *Anreizen und Regulierungen* eine essentielle Rolle in der Projektumsetzung. Zum einen wird die Generation von Strom von erneuerbaren Energieträgern durch Subventionen wie etwa das EEG unterstützt. Allerdings fassen die versuchsführenden Akteure zusammen, dass die Infrastrukturkopplung aufgrund rechtlicher Kollisionen mit bestehendem Recht finanziell nicht rentabel für Stromanbieter wäre. Daher war die Umsetzung nur durch die Fördergelder von AlpEnergy möglich. Generell bieten sich Stromanbietern in Deutschland kaum Anreize, um ein VPS System flächendeckend umzusetzen. Weiterhin kollidierten die organisatorischen und rechtlichen Anforderungen eines VPS mit bestehendem deutschen Recht. Besonders die Preisbildung war daher problematisch und konnte nur über Umwege (via Guthabensystem) implementiert werden. Auch besteht kein regulatorischer Rahmen, welcher ein derartiges nachhaltiges Stromsystem regeln könnte. Weiter fehlten datenschutzrechtliche Grundlagen, um die Nutzerdatensicherheit garantieren zu können.

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

Dieser Abschnitt benennt und analysiert die akteursbezogenen Prozesse, welche einen Einfluss auf den Entwicklungspfad gehabt haben. Dadurch kann festgestellt werden, wie die verschiedenen Akteure mit Einflussfaktoren umgegangen sind, um einen erfolgreichen Ausgang des Projektes zu gewährleisten, und welchen Herausforderungen sie gegenüberstanden. Wir analysieren insbesondere die transformativen und orchestrierenden Handlungen, welche innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren.

Tabelle 17 bietet eine Übersicht der involvierten Akteure im Entwicklungspfad. Die zentralen Akteure waren die AÜW und die B.A.U.M. Consulting Group. Zusammen haben die beiden Unternehmen die Infrastrukturkopplung im Rahmen des INTERREG Forschungsprogrammes

initiiert und haben das transnationale Konsortium von AlpEnergy geleitet. Bei der lokalen Umsetzung vom VPS Allgäu wurden sie von der Tourismusorganisation Allgäu GmbH unterstützt. Bei der technischen Umsetzung hat das VPS Allgäu besonders von dem technischen Wissen der Partner der nationalen Technologieträger-Kooperation (NTK) profitiert. Das Vorhaben wurde somit größtenteils von Akteuren aus dem Markt-Sektor durchgeführt.

Tabelle 17: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad des VPS Allgäu

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Allgäuer Überlandwerk GmbH	Regional	Markt	Initiieren und Umsetzen des Projektes Technisches Managen des Projektes
B.A.U.M. Consulting Group GmbH	National	Markt	Initiieren des Projektes Finanzielles und organisatorisches Managen des Projektes Erstellung von Dokumentation des Pilotversuchs
Allgäu GmbH	Regional	Markt	Begleiten des Projektes
INTERREG NWE	Europäisch	Dritter Sektor	Koordination der verschiedenen Projektpartner Geldgeber
Europäischer Fond für regionale Entwicklung (Förderprogramm “Alpine Spaces“)	Europäisch	Dritter Sektor	Initiieren des Projektes Geldgeber
Regionaler Beirat	Regional	Öffentliche Hand/Markt/Gemeinschaft	Begleiten des Projektes
Lackmann (NTK)	National	Markt	Beisteuerung von technischem Wissen
Energy4U (NTK)	National	Markt	Beisteuerung von technischem Wissen
EVB Energy Solutions (NTK)	National	Markt	Beisteuerung von technischem Wissen
Joonior (NTK)	National	Markt	Beisteuerung von technischem Wissen
Siemens (NTK)	National	Markt	Beisteuerung von technischem Wissen
RWTH Aachen (NTK)	National	Dritter Sektor	Beisteuerung von technischem Wissen
Fachhochschule Osnabrück (NTK)	National	Dritter Sektor	Beisteuerung von technischem Wissen
Hochschule Kempten (NTK)	National	Dritter Sektor	Beisteuerung von technischem Wissen
Referenzkunden	Lokal	Gemeinschaft	Testen das VPS Allgäu
Gesetzgeber	National	Öffentliche Hand	Gesetzgebung (beispielsweise EEG)
Lokale Regierung im Allgäu	Lokal	Öffentliche Hand	Verfolgt Nachhaltigkeitsstrategie

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen ermöglichen und fördern Innovation und Nischenbildung, der Integration der Innovation in das bestehende Regime und die Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation. Durch transformative Handlungen haben die Akteure Verbindung von Stromerzeugung und IKT initiiert, entwickelt und setzen es in die Realität um.
Handlungen zur *Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung* wurden besonders zu Beginn des Entwicklungspfades durchgeführt. Zuerst wurden Möglichkeiten der Innovation und Nischenbildung in der Allgäuer Stromversorgung von den AÜW durch eine Studie (PEESA) identifiziert, mit dem Ergebnis, dass es gute lokale Gegebenheiten für erneuerbare Energien gibt. Das lokale Bestreben zur Erschließung erneuerbarer Energien durch innovative Technologien wurde durch die Teilnahme bei AlpEnergy mit anderen, ähnlichen Bestreben im gesamten Alpenraum verbunden. Dies wurde erreicht, indem sich die AÜW zusammen mit der B.A.U.M. für die Teilnahme bewarben und später den Pilotversuch „VPS Allgäu“ als nationale Projektleiter durchführten. Dadurch konnte eine Nische gegenüber dem existierenden Regime der Stromversorgung im Alpenraum geschaffen werden. Durch die Erstellung des Masterplans wurde die weitere Fortführung der Innovation organisiert. Gezielte Kundenakquise führte letztlich dazu, dass genügend Referenzkunden für die Versuchsdurchführung gewonnen werden konnten. Gleichzeitig stellte die Öffentlichkeitsarbeit der Allgäu GmbH sicher, dass das Projekt in der Bevölkerung Unterstützung erfuhr.
Durch Handlungen zur *Anbindung der Innovation an den Kontext* wird die Infrastrukturkopplung in bestehende institutionelle Strukturen integriert. Für die Umsetzung wurde bei den AÜW eine eigene Abteilung für Innovationsvorhaben eingerichtet, um Innovationen und Nischenbildungen fest in der Organisationsstruktur zu verankern. Während der praktischen Umsetzung wurden Hemmnisse, welche die Nischenbildung potenziell gefährden könnten (zum Beispiel fehlende Standardisierung von Datenformaten und Technologie, Kollisionen mit bestehendem Recht), durch neue Erfindungen (Neue Software, Einführung neuer Abrechnungsformate um Kollisionen mit Vorschriften der Preisbildung zu umgehen) umgangen. Im Anschluss an das Pilotvorhaben wurden durch die Projektpartner konkrete Vorschläge zu neuen Gesetzen und Standardisierungen gemacht, um die Infrastruktur in Zukunft entweder als Nische oder als Teil des Regimes zu festigen. Während und nach der Versuchsdurchführung kam es bei den Partnern zu Lerneffekten. Beispielsweise wurde erkannt, dass es kein passendes Smart Meter Produkt gibt, welches den Anforderungen eines VPS gerecht werden. Daher entwickelten die AÜW mit weiteren Projektpartnern ein passendes Produkt, welches bis heute vertrieben wird (Herz 2017, mündlich).
Weiterhin wurden Handlungen zur *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation* durchgeführt, um das VPS Allgäu gesellschaftlich zu integrieren. In diesem Rahmen wurden verschiedene Marketingmaßnahmen durchgeführt, um die Technologie der ansässigen Bevölkerung vertraut zu machen. Beispielsweise wurde eine interaktive Animation online gestellt, in welcher die Funktionen der VPS Technologie vorgestellt wurden. Weiterhin arbeiteten die AÜW mit einem regionalen Beirat zusammen, um das VPS Allgäu in die weitere Nachhaltigkeitsstrategie der Region einzubetten und um die politische und öffentliche Sichtbarkeit des Pilotversuches zu garantieren. Durch die Positionierung des VPS Allgäu als Pilotprojekt erfuhr das Vorhaben auch nach Versuchsende eine große Aufmerksamkeit. Zum Beispiel wurden mehrere Dokumente

erstellt, welche die Versuchsdurchführung detailliert dokumentierten und für die Öffentlichkeit zugängig machten. Eine eigene Website von AlpEnergy informiert die Öffentlichkeit bis heute über Neuigkeiten der Projektpartner.

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen zeigen sich in strategischer Richtungssetzung, skalen- und ressourcenübergreifenden Meditation und dem Setzen von Rahmenbedingungen um Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren.

Handlungen für die *strategische Richtungssetzung* spielte vor allem während der Planungsphase des VPS Allgäu eine große Rolle. So wurde durch den Masterplan und die weiteren Planungen eine breitangelegte Vision für das VPS Allgäu erstellt. Das VPS Allgäu sollte eine mögliche Lösung erproben, um mit den Stromversorgungsschwierigkeiten im Alpenraum umgehen zu können. Dadurch dass viele verschiedene Partner aus der Forschung, Politik und Gesellschaft in den Planungsprozess mit eingebunden waren, wurde diese Vision auch von den lokalen Akteuren unterstützt. Weiterhin war die Vision in die weitere regionale Nachhaltigkeitsstrategie im Allgäu eingebettet. Besonders die Kommunikation mit lokalen Vertretern aus der Politik und dem Tourismusbereich (Allgäu GmbH) stellte sicher, dass das VPS Allgäu mit weiteren Nachhaltigkeitsmaßnahmen in der Gegend vereinbar war. Durch die Einbindung von mehreren Forschungsinstituten wurde sichergestellt, dass die Maßnahmen für das VPS Allgäu in die weitere ForschungsHandlung im Bereich der Smart Grids mit eingebunden war.

Handlungen zur *skalen- und ressortübergreifenden Mediation* kamen bei der Zusammenführung der verschiedenen Projektpartner eine große Rolle. Der Aufbau eines Smart Grid Systems wie das VPS Allgäu erfordert viele verschiedene Arten von Wissen, welche ein Unternehmen wie die AÜW GmbH nicht alleine aufbringen konnte. Daher wurden mehrere Netzwerke gegründet, um die nötige Expertise für die Durchführung des Pilotversuches zu versammeln und koordinieren zu können. Zum einen traten die AÜW dem Forschungsprojekt AlpEnergy bei, um ihre Forschungsinteressen mit anderen Akteuren aus dem Alpenraum zu teilen. Des Weiteren wurden in Deutschland ein Forschungsnetzwerk (NTK) und ein regionaler Beirat gegründet, um Interessensmediation und Wissensaustausch zu ermöglichen.

Handlungen um *Rahmenbedingungen setzen* wurden über die gesamte Projektdauer durchgeführt. Zu Beginn der Planungen wurden Fördermittel verschiedener Geldgeber in Europe durch den Beitritt zu AlpEnergy nutzbar gemacht. Weiterhin wurden bestimmte rechtliche Hürden umgangen, indem man neue innovative Geschäftsmodelle verwirklichte. Beispielswiese konnte das rechtliche Problem der variablen Strompreise (welche durch vertraglich zugesicherte Strompreise nicht realisierbar gewesen wären) durch die Einführung eines Guthabensystems gelöst werden. Allerdings konnten einige Rahmenbedingungen nicht zu Gunsten eines VPS geändert werden. Besonders herauszuheben ist dabei, das zur Zeit der Versuchsdurchführung viele technische und datenschutzrechtliche Standards fehlten, um einen reibungslosen Betrieb des VPS Allgäu zu garantieren. Allerdings haben sich bis zum jetzigen Zeitpunkt viele neuen

Datenstandards entwickelt, sodass viele Problem heute nicht mehr zum Tragen kommen (Herz 2017, mündlich).

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastrukturkopplung durch ihren Entwicklungspfad zu einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen konnte. Durch die funktionalen und geographischen Grenzen ist die Frage nach der Nachhaltigkeitstransformation auf die Stromerzeugung und Stromnutzung auf das Allgäu begrenzt. Hierzu beschreiben wir zuerst den Beitrag des VPS Allgäu zur Nachhaltigkeit und anschließend das transformative Potenzial und/oder die transformative Wirkung des Systems.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag des VPS Allgäu wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.
Das explizite Ziel des VPS Allgäu war es, das Potenzial der lokal vorhandenen Energiepotenziale im Alpenraum effizient verfügbar und nutzbar zu machen, während das Stromnetz vor Netzüberlastungen geschützt werden sollte. Während des Pilotversuchs wurde dies erreicht: Es kam bei voller Stromeinspeisung wurden Lastverschiebungen von bis zu 3% erreicht. Der vom virtuellen Kraftwerk erzeugte Strom konnte den Abnehmern während der Stromspitzen zu günstigeren Preisen als normal (Standardpreis der AÜW) angeboten werden. Allerdings stellte die verwendete Technologie auch Herausforderungen dar. Die Leistungsfähigkeit des VPS Allgäu wurde besonders durch die folgenden Einflussfaktoren beeinflusst:

- Gute Eignung in einem topografischen Umfeld wie dem des Allgäus,
- Technische Entwicklungen wie der Middleware, welche den Stromverbrauch durch Preissignale der Stromerzeugung etwas angleichen kann,
- Problemen bei der Kommunikation der Smart Metern und der Middleware,
- Erhöhung der Wetter-Resilienz durch Einbeziehung des vorhergesagten Wetters in die Strompreise des nächsten Tages. Bei schlechtem Wetter und einem dementsprechend niedrigen Stromertrag wird daher der Strompreis erhöht, um einer zu hohen Stromnachfrage entgegen zu wirken.

Bei der sozialen und ökonomischen Verträglichkeit der Anlage ergaben sich einige Probleme. Zum einen waren einige nutzerseitige Änderungen notwendig, um das VPS Allgäu zu implementieren (zum Beispiel Installation von Smart Metern). Weiter gab es bei den Referenzkunden des Pilotversuchs einige Probleme bei der Bedienung der Smart Home Produkte, da sie keine Erfahrung mit der Technologie hatten. Zum anderen gab es bei dem Energiedienstleister AÜW Probleme mit der ökonomischen Verträglichkeit der Anlage: Durch die Preisgarantie für erneuerbare Energien (EEG) war es schwierig, ein flexibles Preismodell zu

implementieren. Weiter gab es zur Zeit der Durchführung des Pilotversuchs keine nationale Förderung für die Schaffung eines virtuellen Stromversorgungssystems, was ein solches Vorhaben für Stromversorger unrentabel machte (Albrecht et al. 2011). Folgende Faktoren waren bedeutend für die soziale und ökonomische Verträglichkeit:

- Mangelndes Kundenwissen bezüglich der korrekten Nutzung der technischen Hardware,
- Geringes Interesse der Bevölkerung, sich mit den technischen Details des VPS Allgäu auseinander zu setzen,
- Technische Komplexität der Anlage macht es schwer, Kunden vollständig über das System zu informieren,
- Gesetze liefern keine direkten finanziellen Anreize für Stromproduzenten, um ein eigenes VPS aufzubauen.

Das VPS Allgäu hatte positive Beiträge auf Ressourcen und Umwelt. Die Nutzung und Verteilung von erneuerbarer Energie aus Sonnen- und Windkraft trägt an Ressourceneffizienz bei, da Strom während der Mittagsspitze der Stromerzeugung abgenommen wird, welcher sonst gespeichert werden müsste (unter Verlusten) oder verloren geht. Sie reduziert Treibhausgasemissionen, da durch die Nutzung von erneuerbaren Energien die Nachfrage nach Strom aus fossilen Energieträgern verringert werden kann. Da durch das VPS keine physischen Infrastrukturen verändert werden müssen (zum Beispiel das Legen neuer Stromleitungen) hat die Infrastrukturkopplung keine direkten negativen Auswirkungen auf die Umwelt. Besonders die folgenden Faktoren prägen die Ressourcenschonung und -effizienz des VPS Allgäu:

- Erhöhung der Praktikabilität der Nutzung von erneuerbarer Energie im Allgäu,
- Weniger Abhängigkeit von fossilen Energieträgern,
- Vermeidung von Stromverlusten, welche bei der Speicherung von Strom auftreten würden,
- Keine nötigen Eingriffe in die Natur, um etwa neue Stromleitungen zu verlegen.

Die Versorgungssicherheit im Kontext von wetterbedingten Störungen war beim VPS Allgäu relativ hoch. Das virtuelle Stromversorgungsnetzwerk wurde gezielt dafür gebaut, Netzüberlastungen zu verhindern. Das heißt, dass auch bei besonders sonnigem oder windigem Wetter die Lastspitzen (der Stromeinspeisung) durch besonders billige Preissignale abgefedert werden konnten (die Middleware berechnet die Folgetagpreise auch unter Beachtung des erwarteten Wetters am nächsten Tag). Es bestehen keine Informationen bezüglich der Resilienz der Anlage im Kontext von wetterbedingten Störungen.

4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das transformative Potential und die transformative Wirkung der Infrastrukturkopplung im Allgäu sind daran festzumachen, inwieweit durch das VPS das dominante Regime der Stromversorgung und IKT im Allgäuer Raum in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird beziehungsweise worden ist. Das VPS Allgäu ist eine mögliche Antwort auf bevorstehende Stromnetzherausforderungen im Allgäu. Das transformative Potential zeigt sich somit insbesondere dadurch, dass es einen wesentlichen Beitrag zu der Versorgungssicherheit und

Regelfähigkeit von dezentral produzierten erneuerbaren Energien leisten kann. Aufgrund der guten Eignung des Alpenraums für die Erzeugung regenerativer Energien, werden in den nächsten Jahren immer größere Strommengen von kleinen, dezentralen Stromerzeugern in das Netz eingespeist werden. Diese Stromversorgungsherausforderungen kommen auch auf andere Stromversorger im gesamten deutschen Raum zu (Herz 2017 mündlich; Ansbacher 2017 mündlich). Daher suchen viele Stromerzeuger nach neuen Geschäftsmodellen und technischen Lösungen. Das Geschäftsmodell des VPS Allgäu im Allgemeinen, und der variablen Folgetagtarifen für Strom im Besonderen, war zum Zeitpunkt seiner Einführung vollkommen neu auf dem deutschen Markt. Dadurch, dass gezeigt wurde, dass gleichbleibende Strompreise zu keiner Lastverschiebung führen können, wurden alte Geschäftsmodelle mit stetigen Strompreisen in Frage gestellt. Allerdings sind viele Komponenten, wie etwa Smart Meter und Smart Power Outlets, noch nicht weit genug ausgereift und verbreitet, um das transformative Potential der Infrastrukturkopplung voll auszuschöpfen.
Das VPS Allgäu hat schon eine transformative Wirkung entfaltet. Viele der rechtlichen Hürden, welche einer erfolgreichen Implementierung eines VPS im Weg standen, sind mittlerweile aus dem Weg geräumt worden. Beispielsweise ist es mittlerweile problemlos möglich, variable Strompreismodelle zu unterhalten (Herz 2017, mündlich). Allerdings lässt sich nicht genau sagen, inwieweit der Pilotversuch des VPS Allgäu zu diesen Änderungen in bestehendem Recht beigetragen hat. Innerhalb der teilnehmenden Partnerorganisationen hat der Pilotversuch auch zu organisatorischen Neustrukturierungen geführt. So wurde bei der AÜW. Des Weiteren haben die Forschungsarbeiten von AlpEnergy zu vielen weiteren Forschungsprojekten bezüglich Smart Grids geführt (Ansbacher 2017, mündlich). Angestoßen von den ersten Ideen aus der ALpEnergy Kooperation (und der vorangestellten PEESA Studie) werden verschiedene Möglichkeiten der Stromerzeugung und Netzentlastung getestet. Dies weist auf Lerneffekte aus dem Vorhaben hin. Allerdings werden die verschiedenen Konzepte immer nur auf Forschungsbasis durchgeführt und wurden in der gleichen Art noch nicht flächendeckend als Stromversorgungssysteme implementiert.
Das VPS Allgäu stieß auf begrenztes Interesse bei den Bestandskunden der AÜW. Zwar war es möglich, genügend Referenzkunden für die Versuchsdurchführung zu gewinnen. Allerdings gab es von Seiten der Kunden eine geringe Initiative, sich über die Technologie zu informieren. Die Lastverschiebung durch geändertes Nutzerverhalten wurde nur durch direkte Preisanreize erreicht. Daher hätte ein ähnliches System wie das VPS Allgäu ohne Preisanreize ein geringes Lastverschiebungspotenzial. Es ist anzumerken, dass das Geschäftsmodell des VPS Allgäu nur durch die finanzielle Förderung durch AlpEnergy rentabel war. Im Abschlussbericht des Pilotversuches wird vermerkt, dass ein ähnliches Energie- und Geschäftsmodell ohne die Förderungen für Stromproduzenten unrentabel wäre. Daher wurde der Betrieb des VPS Allgäu auch nach Versuchsende eingestellt.

5 Fazit

Die Fallstudie zur Infrastrukturkopplung im VPS Allgäu in der Region Kempten/Allgäu bietet viele detaillierte Einsichten in den Planungsprozess einer solchen Kopplung- von der Initialisierung,

über die Planung, bis hin zur Umsetzung des Vorhabens. Der Pilotversuch im Rahmen von AlpEnergy wurde schon im Jahr 2011 abgeschlossen wurde, lassen sich schon einige Aussagen über den Unterhalt und Erfolg des Systems sagen. Diese konnten gegliedert werden in Einflussfaktoren, den Akteursprozessen und über den Beitrag der Kopplung an einer Nachhaltigkeitstransformation getroffen werden.
Das VPS Allgäu wurde vor allem von den AÜW initialisiert. Das Unternehmen hat es sich zur Aufgabe gemacht, das große Potenzial erneuerbare Energien im Alpenraum nutzbar zu machen. Gleichzeitig sollten die zunehmenden Probleme des Allgäuer Stromnetzes behoben werden: Die verlegten Stromleitungen waren nur für die Stromlieferung von Stromproduzenten an die Stromabnehmer entwickelt, nicht aber in beide Richtungen. Durch die zunehmende dezentrale Stromproduktion von (ehemaligen) Stromabnehmern wird zunehmend mehr Strom von den Abnehmern zurück in das Netz gespeist. Gerade während der sogenannten „Mittagsspitzen“ (einem Überschuss an Solarenergie) erhöht das veraltete Netz das Risiko einer Netzüberlastung. Die Kopplung der Stromerzeugung an die Stromabnahme über Smart Home Hardware sollte dazu führen, dass Nutzer durch verschiedene Anreize dazu bewegt werden, mehr Strom während dieser Mittagsspitze zu verwenden, während in den anderen Stunden des Tages weniger Strom verwendet werden soll. Obwohl die Kopplung vor allen technischer Natur ist, nimmt sie auch einen erheblichen Einfluss auf soziale Aspekte von Nutzern und deren Stromverbrauchsmustern. Vor allem der Einsatz von IKT Hardware (zum Beispiel Smart Meter) war zur Zeit der Versuchsdurchführung neu für Kunden und erforderte nutzerseitige Gewöhnung an das Konzept.
Der Entwicklungspfad wurde von verschiedenen Einflussfaktoren und dem Umgang mit diesen durch Akteure geprägt. Zu Beginn war das Zusammenwirken von lokalen sozio-kulturellen Faktoren und gesellschaftlichen Metafaktoren, welche zu Nachfrageveränderungen hinsichtlich einer umweltfreundlicheren und ressourceneffizienteren Energieversorgung geführt haben. Dieses Umweltbewusstsein und die breitere Nischenentwicklung zur Elektromobilität wurden vom von den AÜW (und den weiteren Projektpartnern) aufgegriffen und zu einem nachhaltigem Stromversorgungsystem entwickelt. Auf die Planung und Umsetzung der Anlage wirkten sich maßgeblich die Fördergelder durch die Geldgeber von AlpEnergy aus. Ohne die finanzielle Förderung boten sich zur Zeit der Versuchsdurchführung keine Anreize für Stromproduzenten, ein vergleichbares System aufzubauen.
Nach Beendigung des Pilotversuches wurde das VPS Allgäu nicht weitergeführt. Dazu haben mehrere Faktoren geführt: Zum einen waren der Unterhalt und die weitere Entwicklung des VPS Allgäus nicht finanziell rentabel für die Betreiber. Zum anderen sahen die Betreiber der Anlage zu viele neue technische Entwicklungen in dem Bereich der Smart Grids, um ein einzelnes (mittlerweile veraltetes) System zu diesem Zeitpunkt weiter zu unterhalten. Allerdings führten die technischen und organisatorischen Erkenntnisse, welche aus dem Pilotversuch gezogen werden konnten, zu weiteren Forschungsprojekten, welche teilweise bis heute andauern.
Besonders während der Versuchsdurchführung des VPS Allgäu gab es bei dem Konzept Probleme mit fehlenden Datenstandards, Software und Hardware. Diese mussten teilweise neu entwickelt werden und führten zu technischen Problemen während der Versuchsdurchführung. Weiter ergaben sich Probleme mit der Abrechnung und Weitergabe der variablen Strompreise

an die Referenzkunden des Pilotprojektes. Letzten Endes wurde das VPS Allgäu zum geplanten Startzeitpunkt der Inbetriebnahme einsatzbereit und funktionierte über die gesamte Pilotphase ohne Ausfälle.
Da das VPS Allgäu nicht mehr betrieben wird, lässt sich wenig über den Beitrag der Anlage an einer breiteren gesellschaftlichen Nachhaltigkeitstransformation ableiten. Vor dem Hintergrund einer breiteren Nachhaltigkeitstransformation über den lokalen Kontext hinaus ist eine der zentralen Fragestellungen, wie auf größeren politischen Entscheidungsebenen weitere (lokale) Umsetzungen gefördert werden können und werden. Erst wenn die finanzielle Rentabilität eines ähnlichen Stromsystems als Geschäftsmodell gegeben ist, werden weitere Stromanbieter weiter Systeme wie das VPS Allgäu aufbauen und auch über längere Zeit betreiben.

6 Quellenverzeichnis

Albrecht, Carmen, Ludwig Karg, und Kleine-Hegermann (2011a): AlpEnergy Fallstudie Allgäu. B.A.U.M. Consult GmbH.

Albrecht, Carmen, Ludwig Karg, und Kerstin Kleine-Hegermann (2011b): Fallstudie der Projekregion Allgäu. B.A.U.M. Consult GmbH. http://alpenergy.net/AlpEnergy_Case-Study_Allg%C3%A4ua6a8.pdf_%3b%20modification-date%3d_Mon%2c%2021%20Jan%202013%2018_41_30%20%2b0100_%3b%20size%3d3990642%3b?option=com_docman&task=doc_download&gid=85&Itemid=48&lang=en. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Allgäuer Überlandwerk GmbH (2014): Projekt AlpEnergy abgeschlossen. Allgäuer Überlandwerk GmbH. Januar 23. https://www.auew.de/privatkunden/energie-zukunft/projekt-alpenergy-abgeschlossen/. Aufgerufen am: 15.05.2017.

AlpEnergy (2011): Sustainable Power Systems for the Alpine Space - Case Studies.

AlpEnergy (2014): AlpEnergy - Virtual Power System Allgäu (Broschüre). AlpineSpace, Allgäu GmbH, AÜW, AlpEnergy, B.A.U.M.

AlpEnergy, Alpine Space, und Allgäu GmbH (2010): AlpEnergy Virtual Power System Allgäu. AlpEnergy. https://www.auew.de/wp-content/uploads/2014/01/broschuere_alpenergy.pdf. Aufgerufen am: 15.05.2017.

AÜW (2014): AlpStore fängt die Sonne ein. Allgäuer Überlandwerk GmbH. Januar 23. https://www.auew.de/privatkunden/energie-zukunft/alpstore-faengt-die-sonne-ein/. Aufgerufen am: 15.05.2017.

BMWi (2015): Was ist eigentlich ein ‚Virtuelles Kraftwerk'? https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2015/13/Meldung/direkt-erklaert.html. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Bundesregierung (2016): Energiewende im Überblick. https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/ma%C3%9Fnahmen-im-ueberblick.html. Aufgerufen am: 15.05.2017.

dena (2017): Strategieplattform Power to Gas. Deutsche Energie-Agentur (dena). http://www.powertogas.info/. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Gmelch, Heinz (2000): Erneuerbare Energien in Bayern. Bayerische Landeszentrale für politische Bildungsarbeit. http://www.blz.bayern.de/blz/web/energie/. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Juli, Gerhard (2014): PEESA Datenblatt. https://www.auew.de/wp-content/uploads/2014/07/peesa-gundlagen-und-wertung.pdf. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Karg, Ludwig, Kerstin Kleine-Hegermann, und AlpEnergy (2011): Sustainable Power Systems for the Alpine Space - AlpEnergy - Guidelines for Decision Makers and Practitioners. B.A.U.M. Consult GmbH.

NWE INTERREG IVB (2015): INTERREG IVB NWE programme - Investing in Opportunities. http://4b.nweurope.eu/. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Popp, Martin (2013): Wasserkraftwerke – Historisches Lexikon Bayerns. Historisches Lexikon Bayerns. Juli 16. https://www.historisches-lexikon-bayerns.de/Lexikon/Wasserkraftwerke. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Stadt Wangen (2017): Wangen im Allgäu baut Wasserkraftwerk. Januar 27. http://www.wangen.de/wangen-heute/die-nachricht/nachricht/wangen-im-allgaeu-baut-wasserkraft-weiter-aus.html?tx_ttnews%5BbackPid%5D=24&cHash=d0162c0a21c69b77aa0917a5c2c94637. Aufgerufen am: 15.05.2017.

Tampieri, Andrea, Nicola Galli, AÜW, und RDA (2014): Integration between AlpStore models and AlpEnergy VPS models (WP4).

Witte, Philip, und Martin Kaltschmitt (2016): Stromerzeugung aus Wind und Sonne – Erzeugungscharakteristik und Aspekte einer Integration ins Versorgungssystem. In Energiewende - Quo vadis?, 55–78. Springer Vieweg, Wiesbaden. doi:10.1007/978-3-658-11799-3_5.

10. Drivy - Car-sharing mit privaten Fahrzeugen via App

Autorinnen und Autoren: Mandy Hinzmann[1], Alfred Olfert[2]

[1] Ecologic Institut, Berlin
[2] Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR), Dresden

1 Einleitung

Das Auto ist das am häufigsten verwendete Verkehrsmittel in Deutschland. Im Jahr 2011 verfügten mehr als drei Viertel aller Haushalte über einen PKW und etwa 45 Millionen PKWs sind in Deutschland zugelassen (Kraftfahrt-Bundesamt, 2016; Statistisches Bundesamt, 2013; Wilke, 2015). Gleichzeitig ist der Besitz eines privaten PKW mit hohen Kosten verbunden. Neben dem hohen Anschaffungspreis gibt es beträchtliche laufende Kosten für die Versicherung, Kfz-Steuer und Instandhaltung. Häufig bleiben Privatautos für lange Zeiträume ungenutzt: durchschnittlich parkt ein PKW zu 95% der Zeit. Um diese wertvollen Ressourcen besser zu nutzen, gründete Paulin Dementhon im Jahr 2010 das Unternehmen *Drivy* in Frankreich (damals: *Voiturelib*), das über eine internetgestützte Plattform die Kontaktvermittlung zwischen privaten Autobesitzern und Mietern anbietet. Drivy ermöglicht die Vermietung von Autos zwischen Privatpersonen für kurze Zeiträume und gewährleistet einen Versicherungsschutz für die Zeit der Anmietung. Im Jahr 2014 startete Drivy in Berlin und bietet inzwischen deutschlandweit seinen Service an.

Die Plattform ermöglicht zusätzliche Einnahmen für Autobesitzer und -besitzerinnen und einen Zugang zur Autonutzung für Menschen, die kein eigenes Auto besitzen. Jeder kann sein privates Auto für selbst festgelegte Zeiträume auf der Plattform gegen einen individuellen Preis anbieten. Dafür bietet Drivy Richtwerte an für verschiedene Autotypen und Zeiträume. Der Durchschnittspreis liegt bei 30 Euro pro Tag (Scholl, G. u. a., 2015). Es gibt keine zentralen Abholstellen; Mieterinnen und Mieter können auf der Plattform nach passenden Angeboten in ihrer Nähe suchen. Nach Abschluss des digitalen Mietvertrags erfolgt die Schlüsselübergabe entweder persönlich zwischen Mieter und Vermieter, oder bei teilnehmenden Autos mit einer Telematik-Box mit Hilfe der Drivy Open Technologie via Smartphone. Die Anmeldung bei Drivy ist für Vermieterinnen und Vermieter sowie Mieterinnen und Mieter kostenlos. Wer ein Fahrzeug bucht, zahlt den vom Besitzer festgelegten Preis. 30 Prozent des Preises gehen an Drivy und die Versicherung. Im Anschluss an die erfolgte Vermietung können sich die Drivy-Nutzerinnen und Nutzer gegenseitig auf der Plattform bewerten. Drivy ist heute der größte private Carharing-Dienst in Deutschland. Neben Deutschland und Frankreich ist Drivy inzwischen in Belgien, Spanien und Österreich vertreten und hat europaweit etwa eine Million Nutzer und 40,000 private Autos im Angebot (Drivy, 2017).

Wir betrachten den Vermittlungsdienst für privates Carsharing Drivy zum Zeitpunkt seiner Einführung in Deutschland im Jahr 2014 als eine Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Personenmobilität in Deutschland, welche stark auf der Nutzung von privaten

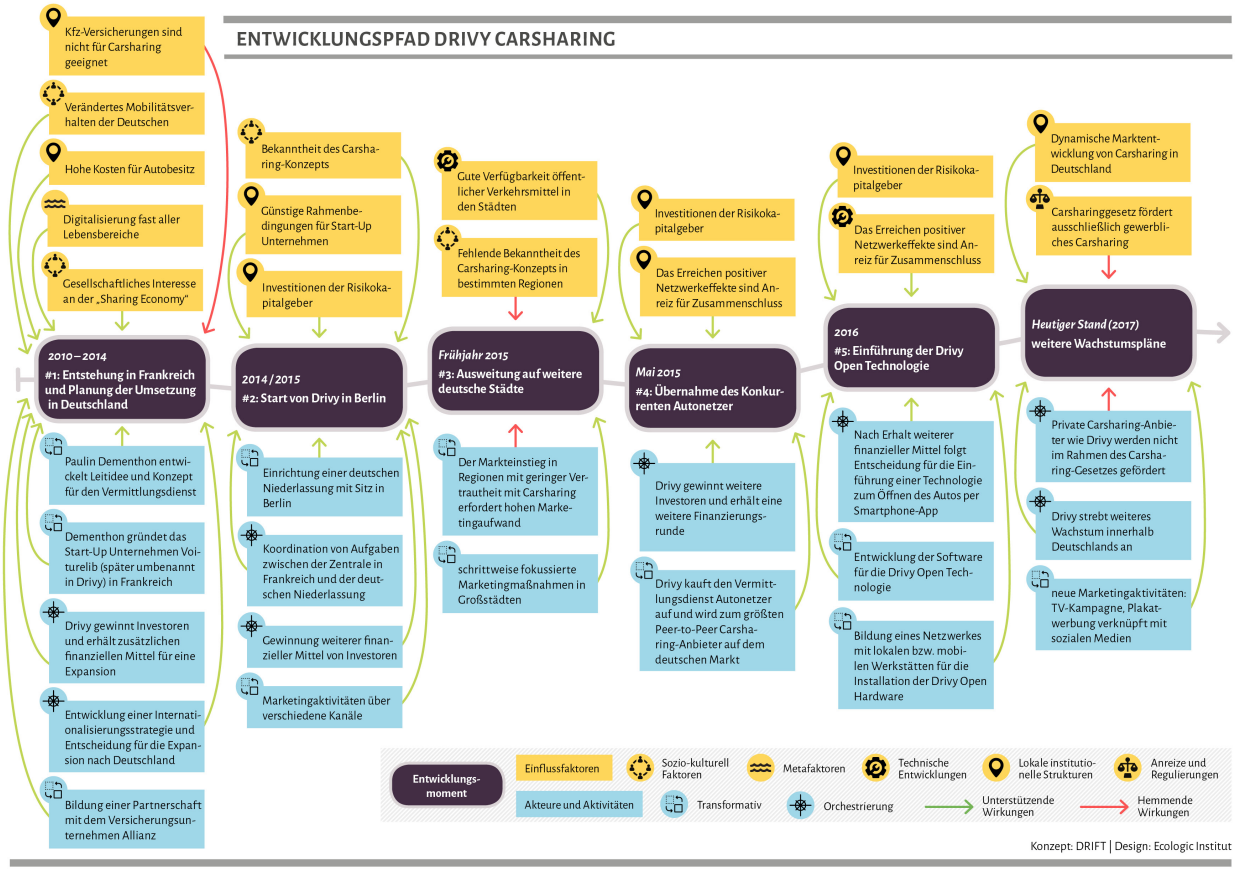
PKWs als Hauptfortbewegungsmittel basiert. Die Fallanalyse betrachtet die Umsetzung der Infrastrukturkopplung in Deutschland. Erfahrungen aus der Gründungsphase sowie der Umsetzung in Frankreich werden dabei berücksichtigt. Durch Drivy erfolgt eine Kopplung der Sektoren Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) mit dem Sektor Verkehr. Private Fahrzeuge werden mit Hilfe von Datenverarbeitung und Steuerung zu einer virtuellen Fahrzeugflotte und erhalten dadurch auf der Vermittlungsplattform Drivy den Angebots-Charakter einer Infrastruktur. Der Anbieter Drivy setzt Big Data Analyse und Algorithmen ein, um zwei Arten von Mehrwertdiensten für seine Nutzer und Nutzerinnen zu schaffen – zum einen PKW-Anbieter, zum anderen für PKW-Mieter. Dadurch erleichtert es Drivy seinen Nutzerinnen und Nutzern, auf den Besitz eines Autos zu verzichten und sich stattdessen multimodal mit Hilfe von öffentlichen Verkehrsmitteln, Fahrrad und bei Bedarf gemieteten Privatautos fortzubewegen. Dadurch kann die Infrastrukturkopplung dazu beitragen, den motorisierten, individualen Personenverkehr zu reduzieren und dadurch Luftverschmutzung, Lärmbelastung, CO_2-Emissionen und den Bedarf an Ressourcen für den Bau von PKWs zu reduzieren.
Im Folgenden **beschreiben und analysieren wir den Entwicklungspfad von Drivy als Plattform für privates Carsharing** von der Idee bis zum heutigen Stand. Das Vorgehen folgt unserem Analyserahmen für TRAFIS AP 2.2 (Hölscher et al. 2019) und basiert auf einer Literaturanalyse sowie auf zwei Interviews mit Experten für alternative und innovative Mobilität[17] (siehe Anhang 2.9). **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung festzustellen.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der akteursbezogenen Prozesse, um aufzuzeigen, durch welche Handlungen Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind den Entwicklungspfad vorangetrieben haben und welche Herausforderung bestehen. Darüber hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) der Carsharing-Plattform zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit die Infrastrukturkopplung an einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann.
Wir beschreiben zunächst den **Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung** von der Idee bis zum heutigen Stand (Abschnitt 2). Hierzu benennen wir die **wesentlichen Entwicklungsmomente** innerhalb des Entwicklungspfads sowie die diese Schritte beeinflussenden Faktoren. Im nächsten Schritt analysieren wir die **Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfads**: Welche Einflussfaktoren und akteursbezogenen Prozesse wirken sich auf die Entwicklungsmomente aus (Abschnitt 3). Zuletzt beschreiben wir den erzielten **Beitrag des Vermittlungsdienstes an einer Nachhaltigkeitstransformation** (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

2 Der Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung

[17] Leider war es nicht möglich, Interviews mit an dem Vermittlungsdienst beteiligten Akteuren und Akteurinnen durchzuführen. Daher greifen wir auf Erkenntnisse aus Interviews mit zwei Mobilitätsexperten zurück: Andreas Nelskamp ist Gründer und Managing Director von ViaMaxi Mobility Consulting & Execution Management; Dr. Thomas Sauter-Servaes ist Mobilitätsforscher an der ZHAW School of Engineering in Zürich.

Im Folgenden stellen wir den Entwicklungspfad des Vermittlungsdienstes für privates Carsharing Drivy von der Idee bis zum heutigen Stand anhand seiner wesentlichen Entwicklungsmomente vor. Der Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der Infrastrukturkopplung als Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Personenmobilität in Deutschland. Da die Idee für Drivy in Frankreich entstanden und zunächst dort umgesetzt worden ist, umfasst der Entwicklungspfad auch die Entstehungsphase in Frankreich.
Abbildung 23 gibt eine visuelle Übersicht über die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfades und die wesentlichen Einflussfaktoren.

Abbildung 23: Der Entwicklungspfad des Vermittlungsdienstes Drivy für Carsharing mit privaten Fahrzeugen via App



2.1 Entwicklungsmoment #1: Entstehung in Frankreich und Planung der Umsetzung in Deutschland (2010 - 2014)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Die Idee für Drivy stammt von dem Gründer Paulin Dementhon. Er machte die Beobachtung, dass ein großes Marktpotential für die Vermietung von privaten, lange Zeit ungenutzt stehenden Autos besteht. Seine Leitidee bestand darin, bestehende Ressourcen – in diesem Fall private PKWs – besser zu nutzen (Heuzeroth, 2017). Mithilfe einer online-gestützten Plattform wollte er die Kontaktvermittlung zwischen Autobesitzern und potenziellen Mietern anbieten und dadurch

die Anmietung eines privaten Fahrzeuges in der nahen Umgebung ermöglichen. Ein zentrales Element seiner Idee ist dabei eine zusätzliche Versicherung für die Zeit der Anmietung, damit Schäden am Auto nicht auf den Besitzer oder die Besitzerin zurückfallen. Daher brauchte Dementhon für die Umsetzung seiner Idee ein Versicherungsunternehmen als Partner. Es dauerte ein Jahr, bis er schließlich ein Unternehmen fand, dass ihm eine entsprechende Versicherung anbot[18] (Schwarz, 2014). Einige Monate später gründete er VoitureLib und startete im Dezember 2010 die Webseite Voiturelib.com. Die Vermittlungsplattform finanzierte sich durch den Einbehalt eines kleinen Anteils des Mietpreises.
Die Plattform lief in Frankreich gut an und erreichte bald eine hohe Zahl an Nutzerinnen und Nutzern. Im September 2012 erhielt Dementhon für seine Vermittlungsplattform eine Förderung von den Risikokapitalgebern Index Ventures und Alven Capital im Umfang von etwa 2 Mio. Euro (Scholl, G. u. a., 2015). Daraufhin erarbeitete das französische Unternehmen eine **Internationalisierungsstrategie**. Im Januar 2013 nannte Gründer Dementhon sein Unternehmen in „Drivy“ um mit der Begründung, der neue Name sei besser geeignet für das Ausland (Joseph-Dezaize, 2013). Das Unternehmen entschied sich, als ersten Schritt der Expansion seine Carsharing-Plattform auf dem deutschen Markt zu etablieren. Deutschland war für Drivy attraktiv, da es den wichtigsten Automarkt in Europa darstellte und als offen für Innovationen angesehen wurde (L. Bay, 2015). Die Allianz SE wurde als Versicherungspartner gewonnen. Im Jahr 2014 wurde ein Managing Director für Deutschand eingestellt und Büros in Berlin angemietet. Für den Aufbau von Kapazitäten in Deutschland nutzte das Unternehmen das Geld aus der zweiten Finanzierungsrunde der Risikokapitalgebern.
Eine wichtige Neuerung war die Entwicklung eines speziellen Versicherungspakets für die Dauer der PKW-Nutzung durch Mieter (Scholl, G. u. a., 2015). Durch die Erfahrungen in Frankreich seit dem Jahr 2010 konnte Drivy das Konzept für die Versicherung verbessern und weiterentwickeln, und schließlich die Allianz von dem Konzept überzeugen (Drivy, ohne Jahr). Bei einer Anmietung über Drivy tritt nun die umfassende Versicherung der Allianz anstelle der Versicherung des Autobesitzers automatisch in Kraft. Die Versicherungsprämie ist dabei bereits in den auf der Plattform angezeigten Preisen eingeschlossen. Das Versicherungspaket beinhaltet eine Vollkasko- und Haftpflichtversicherung sowie einen 24-Stunden Pannendienst. Diese gelten in fast allen europäischen Ländern (Drivy, ohne Jahr; Much, 2016). Die Versicherung deckt Unfälle, Diebstähle und Feuer ab. Zweitfahrer und –fahrerinnen sind in dem Schutz inbegriffen. Im Falle der Mitschuld des Mieters bei Unfällen zahlt der Mieter die Kosten bis zur Grenze der Selbstbeteiligung, den Rest deckt das Versicherungspaket ab. Eine Besonderheit der Versicherung ist, dass Autos unabhängig vom Fahrzeugalter und den gefahrenen Kilometern versichert werden. Zu den wenige Einschränkungen gehört, dass der gegenwärtige Wert des Fahrzeugs 45.000 Euro nicht übersteigen darf und Mieterinnen oder Mieter mindestens 21 Jahre alt sind (Scholl, G. u. a., 2015).
Zum Zeitpunkt der Entwicklung der Idee für Drivy zählte das private Auto zu den wichtigsten Fortbewegungsmitteln für die breite Bevölkerung in Deutschland. Autos in Privatbesitz wurden im Normalfall ausschließlich von den Mitgliedern eines Haushalts regelmäßig genutzt. Dabei

[18] Es handelte sich um das französische Versicherungsunternehmen MMA.

führte der Besitz eines Autos und die sich dadurch ergebende ständige Verfügbarkeit oftmals dazu, dass es sehr häufig genutzt wird - zu Lasten von anderen, umweltfreundlicheren Verkehrsmitteln: „Spiegelbildlich sinkt bei den Autobesitzern die Nutzung von ÖPNV und Fahrrad im Vergleich zu denselben Bevölkerungsgruppen ohne ständige Autoverfügbarkeit" (Loose, 2016, S. 11). Gewerbliche Carsharing-Angebote sind in vielen deutschen Städten etabliert, stellen allerdings noch immer einen Nischenmarkt dar (Riegler u. a., 2016).
Drivy verknüpft Mobilitätsangebote mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) mittels einer App. Die Neuerung dabei ist, dass Drivy Carsharing zwischen Privatpersonen ermöglicht – zum einen durch Kontaktvermittlung auf der Plattform, zum anderen durch die zusätzliche Versicherung. Implizit regt die Nischeninnovation seine Nutzerinnen und Nutzer zu einer Verhaltensänderung an: Entweder auf den Besitz eines eigenen Autos zu verzichten und stattdessen privates Carsharing zu nutzen, wenn ein Auto gebraucht wird; oder das eigene Auto mit anderen Nutzern und Nutzerinnen teilen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Digitalisierung fast aller Lebensbereiche: Informations- und Kommunikationstechnologie ist weit verbreitet und wird zunehmend in allen Lebensbereichen angewendet (Institut für Mobilitätsforschung - IFMO, o. J.).
- Trendwende in der urbanen Verkehrsplanung: Die Verkehrsplanung in vielen Städten ist nicht mehr primär auf den Autoverkehr ausgerichtet. Zunehmend gewinnen der Fußgänger- und Fahrradverkehr sowie öffentliche Verkehrsmittel an Relevanz. Dabei handelt es sich um einen internationalen Trend, der insbesondere auch in Europa zu beobachten ist. Ein prominentes Beispiel in Frankreich ist die Einführung des Vélib-Fahrradverleihsystems in Paris (Institut für Mobilitätsforschung - IFMO, o. J.).
- Attraktive Marktstruktur in Deutschland: Der deutsche Markt bietet einen großen Bestand an Privatautos sowie eine große Zahl potenzieller Nutzerinnen und Nutzern.
- Hohe Kosten für Autobesitz: neben Anschaffungskosten geht der Besitz eines PKW mit laufenden Kosten für KfZ-Steuer, Versicherung, Instandhaltung und Wartung sowie Kraftstoff einher.
- Kfz-Versicherungen sind nicht für Carsharing geeignet: Je nach Versicherungsmodell können Autoversicherungen zwar den privaten Verleih an Verwandte oder Freunde absichern, jedoch kann der Versicherungsschutz verweigert werden bei einer entgeltlichen Vermietung. Zudem ist bei Unfällen mit Prämienerhöhungen der privaten Versicherung zu rechnen (Scholl et al. 2015).
- Verändertes Mobilitätsverhalten der Deutschen: Unter den Autobesitzern hat die tägliche Nutzung des Autos deutlich abgenommen seit der Jahrtausendwende. Insbesondere junge Autofahrer und Autofahrerinnen bewegen sich im Alltag zunehmend mit Hilfe unterschiedlicher Verkehrsmittel (Auto, Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel). Gleichzeitig ist die Anzahl der Menschen, die ein Auto besitzen, zurückgegangen (Institut für Mobilitätsforschung - IFMO, o. J.).
- Steigendes Bewusstsein für Umweltproblematiken und Ressourcenknappheit: Insbesondere in den deutschen Städten ist den Menschen zunehmend der

Zusammenhang zwischen dem motorisierten Individualverkehr und Umweltproblemen – wie Klimawandel, Luftverschmutzung, Lärmbelastung – bewusst (BMUB & UBA, 2015).

- Verbreitung alternativer Mobilitätskonzepte: Mehrere deutsche Autobauer haben Carsharing-Angebote auf den Markt gebracht und das Konzept etabliert – zum Beispiel Car2go von Daimler, DriveNow von BMW. Gleichzeitig haben sich Ridesharing-Angebote verbreitet (zum Beispiel Mitfahrzentrale). Viele Menschen in Deutschland nutzen die alternativen Mobilitätsangebote und sind mit den neuen Konzepten vertraut (L. Bay, 2016).
- Gesellschaftliches Interesse an der „Sharing Economy“: Viele der potenziellen Nutzerinnen und Nutzer sind bereits mit dem Konzept „Sharing Economy“ und Peer-to-Peer Sharing“ vertraut. Beispielsweise hat AirBnB einen hohen Bekanntheitsgrad. Der Markteintritt in Deutschland erfolgte daher zu einem günstigen Zeitpunkt (Gossen, M., Henseling, C., Bätzing, M., & Flick, C., 2016; Schwarz, 2014).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Entwicklung der Idee: Paulin Dementhon möchte die Vermietung von Fahrzeugen zwischen Privatpersonen ermöglichen mit Hilfe einer onlinegestützten Plattform zur Kontaktvermittlung.
- Einbindung eines Versicherungsunternehmens als Partner: Das französisches Versicherungsunternehmen MMA bietet eine Versicherung an.
- Unterstützung von Risikokapitalgebern: Die Risikokapitalgeber Index Ventures und Alven Capital investieren im September 2012 zwei Mio. Euro in die Vermittlungsplattform. In einer zweiten Finanzierungsrunde im Mai 2014 erhält Drivy weitere 6 Mio. Euro (Scholl, G. u. a., 2015). In gewissem Umfang haben die Kapitalgeber Mitspracherechte bei strategischen Entscheidungen (hauptsächlich in den Board-Meetings, die viertel- beziehungsweise halbjährig stattfinden), greifen aber nicht in das operative Geschäft ein (Nelskamp 2017, mündlich).
- Weiterentwicklung des Versicherungskonzepts: Drivy entwickelt das Versicherungskonzept für die Autovermietung zwischen Privatpersonen weiter und sucht nach einem Versicherungspartner für die Internationalisierungsstrategie.
- Abschluss eines umfassenden Versicherungspakets: Drivy überzeugt das Versicherungsunternehmen Allianz von seinem Konzept und gewinnt somit einen neuen Versicherungspartner. Drivy und die Allianz schließen ein umfassendes Versicherungspaket für die Dauer der PKW-Nutzung ab.
- Einstellung von Personal in Deutschland: Anfang 2014 schreibt Drivy eine Stelle für einen Country Manager in Deutschland aus, welcher den Markteinstieg organisieren und ein Team für Drivy in Berlin zusammenstellen soll (Wirminghaus, 2014).
- Eröffnung der deutschen Niederlassung in Berlin.

2.2 Entwicklungsmoment #2: Start von Drivy in Berlin (November 2014 – März 2015)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Im November 2014 startete Drivy seine Vermittlungsplattform zunächst mit einer „Public Beta"-Phase in Berlin. Ein dreiköpfiges Team betreute die deutsche Version der Plattform. Dies beinhaltete unter anderem technische Wartungsarbeiten, Kommunikation mit den Nutzerinnen und Nutzern und MarketingHandlungen (Bröse, 2016). Dabei arbeitete das Team in Deutschland eng mit den Drivy-Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen in Frankreich zusammen und profitierte von den dort bereits gesammelten Erfahrungen (Drivy Blog, 2014).[19]
Eine zentrale Herausforderung für den Start in Deutschland bestand darin, in möglichst kurzer Zeit viele Autobesitzerinnen und -besitzer für die Teilnahme an der Vermittlungsplattform sowie eine aktive Nutzergemeinschaft zu gewinnen (Schwarz, 2014). Um für Nutzerinnen und Nutzer attraktiv zu sein, ist die Online Plattform auf positive Netzwerkeffekte angewiesen: erst wenn genügend Vermietende und Mietende teilnehmen, gibt es eine Auswahl an passenden Angeboten sowie eine Nachfrage (Bröse, 2016; Vogelpohl & Simons, 2015, Nelskamp 2017 mündlich). Dafür spielten Marketing-Handlungen eine zentrale Rolle. Als Anreiz zur Kundengewinnung gab es in Berlin für Nutzer und Nutzerinnen einen Gutschein über 15 Euro für ihre erste Fahrt mit Drivy (Drivy Blog, 2014).
Anfang 2015 startete Drivy die offizielle Version seiner Plattform. Der Vermittlungsdienst war als Web, iOS und Android App verfügbar. Die Anmeldung ist für Mieter und Vermieter kostenlos. Per Adresseingabe können Nutzerinnen und Nutzer verfügbare Autos in ihrer Nähe finden. Telefonisch oder über den Nachrichtendienst der Plattform nehmen sie Kontakt zu dem jeweiligen Autobesitzer oder der Autobesitzerin auf und klären die Verfügbarkeit des Autos für den gewünschten Zeitraum ab. Eine Vorlage für den Mietvertrag kann auf der Webseite heruntergeladen werden, muss ausgedruckt zur Schlüsselübergabe mitgebracht werden und wird dort unterzeichnet. Bei der Übergabe prüft der Autobesitzer oder die Autobesitzerin den Führerschein sowie die Bankdaten des Mieters oder der Mieterin. Außerdem wird der Zustand des Fahrzeugs kontrolliert (Scholl, G. u. a., 2015). Im Anschluss an die Anmietung können sich die Beteiligten gegenseitig auf der Plattform bewerten. Dafür steht ein einfaches Bewertungssystem mit einer Skala von null bis fünf Sternen zur Verfügung sowie die Option einer Textbewertung. Dieses System schafft Transparenz und stärkt dadurch das Vertrauen zwischen den Autobesitzerinnen und –besitzern auf der einen und den Mieterinnen und Mietern auf der anderen Seite (Habi, 2015; Scholl, G. u. a., 2015).
Drivy finanziert sich durch den Einbehalt von 30% des Mietpreises. Dieser wird von der Autobesitzerin oder dem Autobesitzer festgelegt. Drivy stellt dafür Richtwerte zur Orientierung bereit. Zusätzlich stehen dem Unternehmen für die Umsetzung der Infrastrukturkopplung in Deutschland Gelder von Investoren zur Verfügung (siehe Entwicklungsmoment #1).
Während in Berlin bereits ein vielseitiges Mobilitätsangebot besteht (ÖPNV, gewerbliches Carsharing, zahlreiche Autovermietungen, Ride-Sharing-Angebote) ist Drivy auf Kurzvermietungen zwischen 1 bis 4 Tagen spezialisiert, zum Beispiel für Wochenendausflüge, Kurzurlaube oder gelegentliche Einkäufe im Möbelkaufhaus. Damit ist es komplementär zu den

[19] Zum Zeitpunkt der Einführung in Deutschland (Ende 2014) waren in Frankreich etwa 350.000 Nutzerinnen und Nutzer sowie etwa 20.000 Fahrzeuge bei Drivy registrier*t* (Drivy Blog, 2014; Schwarz, 2014).

existierenden gewerblichen, stündlichen Carsharing Angeboten wie Car2Go. Im Vergleich zu klassischen Autovermietungen sind die Angebote von Drivy deutlich günstiger.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Bekanntheit des Carsharing-Konzepts: Zum Zeitpunkt der Einführung von Drivy war Carsharing in Berlin bereits weit verbreitet. Neben dem klassischen, stationsbasierten Carsharing haben sich auch stationsunabhängige Angebote verbreitet, zum Beispiel von Car2Go und DriveNow (Schwarz, 2014; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2014).
- Günstige Rahmenbedingungen für Start-Up Unternehmen: Berlin ist wegen seiner günstigen Rahmenbedingungen attraktiv für Start-Ups (Schwarz, 2014).
- Investitionen der Risikokapitalgeber unterstützen die Einführung der App in Berlin: Dank der Investitionen der Risikokapitalgeber Index Ventures und Alven Capital verfügte Drivy über ausreichend Kapital um den Start der Plattform in Berlin umzusetzen, Kapazitäten in Deutschland aufzubauen und Marketingmaßnahmen durchzuführen.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Start der Beta-Phase der App in Berlin: Das dreiköpfige Team in Berlin baut einen Kreis an Autoanbietern auf, wirbt neue Nutzerinnen und Nutzer an, betreut seine Kunden und pflegt die Webseite.
- Start der offiziellen deutschen Version des Vermittlungsdienstes in Berlin: Das Drivy Team Deutschland ist verantwortlich für Marketing und Vertrieb sowie lokale Anpassungen (zum Beispiel im Bereich IT und Prozesse).
- Unternehmensführung und Unterstützung durch den Hauptsitz in Paris: Das Unternehmen wird von Paris aus geleitet (Controlling und Finanzen, IT, Produktentwicklung, etc.). Zudem stehen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Paris den Länderniederlassungen beratend zur Seite.

2.3 Entwicklungsmoment #3: Ausweitung auf weitere deutsche Städte (Januar – April 2015)

Nachdem die Plattform in Berlin mit etwa 100 verfügbaren Autos erfolgreich angelaufen war, folgte die Expansion des Vermittlungsdienstes auf weitere deutsche Städte (Drivy Blog, 2015a). Wie bereits für den Start in Berlin war es für den Erfolg des Vermittlungsdienstes wesentlich, ausreichend Angebot und Nachfrage zu generieren. Dabei spielten der Marketingaufwand und das dafür vorhandene Budget eine limitierende Rolle. Um mit dieser Herausforderung umzugehen, verfolgte Drivy die Strategie, den Vermittlungsservice zunächst schrittweise in den größten deutschen Städten einzuführen. Dadurch konnte sich das Unternehmen auf einzelne Regionen fokussieren und dort einen Nutzerkreis aufbauen, um den Marktplatz ausreichend attraktiv zu machen (Schwarz, 2014; Nelskamp 2017 mündlich).
Im Januar startete Drivy in Hamburg. Es folgten München in Februar und Köln im März. Für seine MarketingHandlungen nutzt Drivy einen eigenen Blog sowie Social Media Kanäle (vor allem Facebook und Twitter). Marketingmaßnahmen direkt vor Ort umfassen zum Beispiel das Verteilen von Flyern (Thiele, 2015) sowie die Veranstaltung von Launch Parties in Hamburg und

München, zu der über den Blog des Unternehmens potenzielle Nutzerinnen und Nutzer eingeladen wurden (Drivy Blog, 2015a, 2015b).
Interessierte Autobesitzer und -besitzerinnen konnten von nun an auch in diesen Städten ihre Fahrzeuge über die Vermittlungsplattform anbieten; potenzielle Mieterinnen und Mieter konnten nach Angeboten in Berlin, Hamburg, München und Köln suchen und diese nutzen. Am 28. April 2015 gab Drivy den deutschlandweiten Start der Plattform bekannt. Zu diesem Zeitpunkt sind bereits 1.000 Fahrzeuge über den Vermittlungsdienst verfügbar (Drivy Blog, 2015c).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Gute Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel in den Städten: Während die Menschen auf dem Land weiterhin stark auf ein Auto angewiesen sind, können Stadtbewohnerinnen und -bewohner auf ein gutes öffentliches Verkehrsangebot zurückgreifen, wodurch sie weniger auf den Besitz eines eigenen Autos angewiesen sind (Institut für Mobilitätsforschung - IFMO, o. J.).
- Fehlende Bekanntheit des Carsharing-Konzepts in bestimmten Regionen: In Regionen, in denen gewerbliche Carsharing-Anbieter bisher nicht vertreten sind, fehlt den Anwohnern die Erfahrung mit Carsharing. Dies betrifft neben kleineren Städten und ländlichen Regionen auch urbane Räume, wie zum Beispiel das Ruhrgebiet. Neue Anbieter müssen potenzielle Nutzer und Nutzerinnen zunächst damit vertraut machen, wie das Konzept funktioniert (tage- oder stundenweise Anmietung, Öffnung des Autos per App, etc.). Für einen einzelnen Anbieter mit begrenztem Marketingbudget ist das eine schwierige Aufgabe (Nelskamp 2017, mündlich).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Marketingmaßnahmen zur Gewinnung von Anbietern und Nutzern: Damit die schrittweise Ausweitung des Vermittlungsdienstes auf ganz Deutschland gelingt, konzentrieren sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Drivy auf den Aufbau einer Nutzergemeinschaft in jeder Stadt.
- Kundenbetreuung: Das Drivy Team Deutschland betreut die Online-Plattform und nimmt telefonische Anfragen entgegen.

2.4 Entwicklungsmoment #4: Übernahme des Konkurrenten Autonetzer (Mai 2015)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:
Autonetzer, eine bestehende Peer-to-Peer Carsharing Plattform in Deutschland, war Drivy‘s größter Konkurrent auf dem deutschen Markt. Das Unternehmen wurde von Drivy im Mai 2015 aufgekauft. Im Juni 2015 werden die Profile der Autonetzer-Nutzer in das System von Drivy überführt. Als Ergebnis wächst die bei Drivy verfügbare privaten Autoflotte: ab Juni sind etwa 11,000 Fahrzeuge bei der Online-Plattform angemeldet. Gleichzeitig ist die Zahl angemeldeten potentiellen Mieter und Mieterinnen gestiegen – insgesamt sind nach der Zusammenführung mit Autonetzer etwa 100,000 Nutzer und Nutzerinnen bei Drivy angemeldet. Damit steigt Drivy auf und wird zum größten Anbieter von Carsharing zwischen Privatpersonen in Deutschland (Scholl, G. u. a., 2015).

Durch die Neuerung steigt die AttrHandlung der Plattform für Nutzerinnen und Nutzer, da erheblich mehr Autos verfügbar sind. Das Wachstum des Unternehmens wurde durch die Übernahme von Autonetzer beschleunigt. Dies zeigte sich vor allem in einem deutlichen Anstieg an Autovermietungen. Zudem wurden neue Mitarbeiter eingestellt, um den zugewonnenen Nutzerinnen und Nutzer zu betreuen (Carsharing News, 2015).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Positive Netzwerkeffekte sind Anreiz für Zusammenschluss: Autonetzer ist Drivy's größter Konkurrent auf dem deutschen Markt. Sowohl Drivy als auch Autonetzer haben Interesse daran, einen möglichst großen Nutzerkreis aufzubauen.
- Investitionen der Risikokapitalgeber ermöglichen die Übernahme von Autonetzer: In einer weiteren Finanzierungsrunde im April 2015 erhält Drivy 8 Millionen Euro von Risikokapitalgebern. Neben Index Ventures und Alven Capital beteiligen sich zwei neue Investoren: BPI France und Via-ID (GetMobility, 2015).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- Aufkauf des Vermittlungsdienstes Autonetzer: Drivy macht seinem Konkurrenten Autonetzer ein Übernahmeangebot; Autonetzer nimmt an.
- Zusammenführung der Nutzerprofile: Die bei Autonetzer registrierten Nutzerinnen und Nutzer (Vermietende sowie Mietende) werden in das System von Drivy überführt.
- Drivy stellt neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ein: Das Drivy Team Deutschland wächst an auf 10 Mitarbeiter (Carsharing News, 2015).

2.5 Entwicklungsmoment #5: Einführung der Drivy Open Technologie (März – Dezember 2016)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Um den Anmietungsprozess weiter zu vereinfachen und die persönliche Schlüsselübergabe umgehen zu können, entwickelte Drivy die Drivy Open Technologie. Diese basiert auf einer im Auto platzierten Telematik-Box die es ermöglicht, das Auto per Smartphone zu öffnen. Eine ähnliche Technologie wurde bereits von gewerblichen Carsharing-Anbietern (zum Beispiel DriveNow) genutzt. Drivy macht das Prinzip nun für sein Peer-to-Peer Carsharing nutzbar (Rest, 2016).

Um die Technologie nutzen zu können, müssen Autobesitzerinnen und -besitzer sich eine Telematik-Box einbauen lassen. Dazu können sie einen Termin mit dem Drivy-Team vereinbaren. Drivy arbeitet mit lokalen Partnern (zum Beispiel mobile Autowerkstätten) vor Ort zusammen, welche die Hardware installieren. Die Kosten für den Einbau der Technologie übernimmt Drivy. Für die Nutzung zahlen Autobesitzer monatlich 29 Euro (B. Bay, 2016). Mit Hilfe der App können Mieter dann mit ihrem Smartphone über Funk das Auto öffnen; der Schlüssel wurde zuvor vom Autobesitzer im Auto deponiert (Wiesmüller & Plöger, 2016). Dabei legt die Autobesitzerin oder der Autobesitzer das Zeitfenster fest, in welchem dies möglich ist (B.

Bay, 2016). Die Telematik-Box ermöglicht zugleich das Auffinden des Autos mit der App per GPS. Drivy Open funktioniert für jedes Auto, das eine Zentralverriegelung besitzt (B. Bay, 2016).
Zunächst wurde die Technologie in Frankreich seit Dezember 2015 ein Jahr lang erprobt. In Deutschland wurde Drivy Open im März 2016 zunächst in Berlin eingeführt; weitere Städte folgten im Laufe des Jahres (Drivy Blog, 2016b, 2016d). Kurz zuvor führte Drivy den mobilen Mietvertrag per App ein – zunächst für iOS im Dezember 2015 und kurz darauf für Android-Geräte im Januar 2016. Damit ist es den Nutzerinnen und Nutzern möglich, den Mietvertrag über das Smartphone auszufüllen und zu unterschreiben. Der Vertrag muss nicht mehr vor der Autoanmietung ausgedruckt und zum Übergabetermin mitgebracht werden (Drivy Blog, 2016a). Der mobile Mietvertrag und Drivy Open ermöglichen es, dass Fahrzeuge über Drivy angemietet werden können, ohne dass sich Mieter und Vermieter für die Übergabe treffen müssen. Autobesitzerinnen und -besitzer können ihr Auto vermieten, ohne bei Beginn der Anmietung anwesend sein zu müssen. Dadurch können sie ihr Auto potenziell häufiger vermieten. Für Mieter und Mieterinnen ergeben sich mehr Zeitfenster und Möglichkeiten, um ein Auto über Drivy zu mieten. Zudem sparen beide Seiten Zeit, die zuvor für die Absprache von Terminen für die Schlüsselübergabe benötigt wurde (B. Bay, 2016; Drivy Blog, 2016b). In diesem Zusammenhang argumentierte der Drivy-Chef für Deutschland, Heiko Barnerßoi, dass diese neue Flexibilität bei der Anmietung Drivy für einen größeren Nutzerkreis attraktiv macht – zum Beispiel auch für Geschäftsreisende (B. Bay, 2016).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- Verfügbarkeit von Technologie zum Öffnen des Autos per Smartphone: Bereits 2012 testete der Automobilzulieferer Continental eine neue Technologie, die es ermöglicht mit Hilfe eines Empfängers im Fahrzeug sowie einer speziellen App auf dem Smartphone die Türen zu öffnen. Dieser „digitale Autoschlüssel“ ist kostengünstig und kann Carsharing-Angebote attraktiver und effizienter machen, indem es die Schlüsselübergabe ersetzt (Handelsblatt, 2012). Beim gewerblichen Carsharing ist diese Technologie bereits weit verbreitet, zum Beispiel wird sie von dem deutschen Anbieter DriveNow genutzt (Le Vine, Zolfaghari, & Polak, 2014; Rest, 2016). Für privates Carsharing entwickelte das Berliner Start-Up CarZapp entsprechende Software und Hardware und testete diese im Jahr 2013 (Die Welt, 2013; Rest, 2016).
- Investitionen der Risikokapitalgeber ermöglichen die Einführung der Drivy Open Technologie: In einer weiteren Finanzierungsrunde im April 2016 erhält Drivy 31 Millionen Euro von seinen Kapitalgebern. Als neue Investoren kamen Cathay Capital und Nokia Growth Partner (NGP) hinzu. Die Investitionen sollen in die Produktentwicklung (einschließlich der Ausstattung von Fahrzeugen mit der Drivy Open Technologie) und in die Erschließung neuer Märkte fließen (Carsharing-Blog, 2016).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- ► Entwicklung der Drivy Open Technologie für die Öffnung der Türen per App: Drivy entwickelt die Software für die Drivy Open Technologie. Für die Hardware kooperiert Drivy mit dem Marktführer (B. Bay, 2016).
- ► Testphase der Drivy Open Technologie in Frankreich: Drivy rüstet Autos in Frankreich mit der Technologie aus und erprobt ein Jahr lang Drivy Open in Frankreich (Drivy Blog, 2016b).
- ► Inbetriebnahme von Drivy Open in Deutschland: Drivy führt die Technologie zunächst bei interessierten Autobesitzern in Berlin ein. Schrittweise folgen weitere große Städte.
- ► Marketingmaßnahmen für Drivy Open: Als Anreiz bietet Drivy für die ersten 100 Autobesitzerinnen und -besitzer in Deutschland die kostenlose Nutzung der Technologie für sechs Monate an (B. Bay, 2016).
- ► Investitionen von Risikokapitalgebern: Weitere Investoren beteiligen sich an der vierten Finanzierungsrunde für Drivy.

2.6 Heutiger Stand

Beschreibung des heutigen Stands der Infrastrukturkopplung:
Drivys virtuelle Autoflotte in Deutschland umfasst heute rund 5000 Fahrzeuge. Etwa 150.000 Nutzerinnen und Nutzer sind bei der Plattform aktiv (Reidel, 2017). Neben Deutschland und Frankreich ist Drivy inzwischen in auch Belgien, Spanien und Österreich vertreten. Das Unternehmen ist Marktführer für privates Carsharing auf dem deutschen und europäischen Markt. Europaweit hat Drivy inzwischen etwa eine Million Nutzer und 40,000 Fahrzeuge im Angebot (Drivy, 2017).

Der heutige Stand wird von den folgenden Einflussfaktoren geprägt:

- ► Dynamische Marktentwicklung von Carsharing in Deutschland: Im Jahr 2016 stieg die Zahl der Nutzer und Nutzerinnen von gewerblichen Carsharing um 36% (BCS 2017).
- ► Carsharinggesetz fördert ausschließlich gewerbliches Carsharing: Im März 2017 verabschiedete der Bundestag das „Gesetz zur Bevorrechtigung des Carsharing (Carsharinggesetz - CsgG)“, welches im September 2017 in Kraft treten soll. Das Rahmengesetz ermöglicht es den Bundesländern, Carsharing durch reservierte Parkplätze und Befreiung von Parkgebühren attraktiver zu machen. Private Carsharing-Fahrzeuge sind zunächst von der Regelung ausgeschlossen. Grund dafür ist die Gefahr von Mitnahmeeffekten – Autobesitzerinnen und –besitzer könnten sich auf privaten Carsharing-Plattformen wie Drivy anmelden, nur die kostenlosen Parkplätze zu nutzen (Heuzeroth, 2017; Nelskamp 2017, mündlich).

Der heutige Stand wird von folgenden Akteuren und Handlungen geprägt:

- ► Drivy strebt weiteres Wachstum auf dem deutschen Markt an: Auf dem deutschen Markt will das Unternehmen weiter wachsen und neue Kundensegmente erschließen. Besonders interessant sind Geschäftsreisende (B. Bay, 2016; Knoblach, 2017). Sie könnten sich anstelle eines Mietwagens einen privaten Wagen mieten. Andersherum

könnten Unternehmen ihre Firmenwagen über den Vermittlungsdienst zur Vermietung anbieten (Nelskamp 2017, mündlich). Darüber hinaus ist Drivy an einer Kooperation mit Autoherstellern interessiert und befindet sich bereits in Gesprächen dafür (Heuzeroth, 2017). Denkbar wäre ein ähnliches Geschäftsmodell wie die Partnerschaft zwischen dem Peer-to-Peer Carsharing-Anbieter Getaround und Toyota in den USA (Nelskamp 2017, mündlich).

3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung ist durch vielzählige Veränderungsdynamiken zwischen Einflussfaktoren aus dem Kontext des Systems, in welchem die Abwasserwärmeanlage umgesetzt wurde, und akteursbezogenen Prozessen gekennzeichnet. Im Folgenden untersuchen wir zunächst die verschiedenen Einflussfaktoren, welche während der Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind, und deren unterstützende und/oder hemmende Wirkungen auf den Entwicklungspfad. Daraufhin analysieren wir die Handlungen der unterschiedlichen Akteure, und wie diese mit den Einflussfaktoren umgegangen sind. Tabelle 18 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken während der Entwicklungsmomente – den Einflussfaktoren und deren Wirkungen sowie der Akteure und Handlungen.

Tabelle 18: Die Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad der Carsharing-App Drivy

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
#1: Entstehung in Frankreich und Planung der Umsetzung in Deutschland (2010 – 2014)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* Gesellschaftliches Interesse an der „Sharing Economy“	*Unterstützend:* Viele der potenziellen Nutzerinnen und Nutzer sind bereits mit dem Konzept „Sharing Economy“ und Peer-to-Peer Sharing“ vertraut.	*Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Paulin Dementhon entwickelt die Leitidee für eine onlinegestützte Plattform, welche die Vermietung von Fahrzeugen zwischen Privatpersonen ermöglichen soll. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Dementhon entwickelt das Konzept für die APP und gewinnt ein französischen Versicherungsunternehmen als Partner. *Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ)*: Dementhon gründet das Start-Up Unternehmen Voiturelib (später umbenannt in Drivy), um seine Leitidee umzusetzen.
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Digitalisierung fast aller Lebensbereiche	*Unterstützend:* Informations- und Kommunikationstechnologie für viele potentielle Nutzer verfügbar	
	Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): Steigendes Bewusstsein für Umweltproblematiken und Ressourcenknappheit	*Unterstützend:* erhöht die Bereitschaft, vorhandene Ressourcen besser zu nutzen und zu teilen	
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Trendwende in der urbanen Verkehrsplanung	*Unterstützend:* bietet Alternativen zum privaten Autobesitz	
	Lokale institutionelle Faktoren: Hohe Kosten für Autobesitz – neben Anschaffungskosten geht der Besitz eines PKW mit laufenden Kosten für KfZ-Steuer, Versicherung, Instandhaltung und Wartung sowie Kraftstoff einher.	*Unterstützend:* Auto bei Bedarf zu leihen statt zu besitzen ist ökonomisch attraktiv	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Drivy gewinnt Investoren und erhält zusätzlichen finanziellen Mittel für eine Expansion *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung*): Mit Unterstützung von den Risikokapitalgebern entwickelt Drivy eine

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Verbreitung alternativer Mobilitätskonzepte (zum Beispiel Carsharing, Ridesharing)	*Unterstützend:* In vielen Städten gibt es ein Angebot an alternativen Mobilitätsangeboten und die Bewohnerinnen und Bewohner sind mit den neuen Konzepten vertraut.	Internationalisierungsstrategie und entscheidet sich für die Expansion nach Deutschland. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Softwareentwicklung, Marktanalyse und strategische Planung für die Einführung des Vermittlungsdienstes in Deutschland.
	Lokale institutionelle Faktoren: Attraktive Marktstruktur in Deutschland	*Unterstützend:* Aufgrund seines großen Bestands an Privatautos und der großen Zahl an potenziellen Nutzern ist der deutsche Markt attraktiv für private Carsharing-Anbieter	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Verändertes Mobilitätsverhalten der Deutschen: Unter den Autobesitzern hat die tägliche Nutzung des Autos deutlich abgenommen; Gleichzeitig besitzen weniger Menschen ein eigenes Auto	*Unterstützend:* Auf Seiten der Autobesitzer und -besitzerinnen besteht Potenzial, ihr Fahrzeug zu teilen; Nicht-Autobesitzer haben Bedarf an einer Autonutzung für bestimmte Strecken	
	Lokale institutionelle Faktoren: Kfz-Versicherungen sind nicht für Carsharing geeignet	*Hemmend:* bei einer entgeltlichen Vermietung des privaten PKW kann der Versicherungsschutz verweigert werden. Zudem ist bei Unfällen mit Prämienerhöhungen der privaten Versicherung zu rechnen	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ)*: Weiterentwicklung des Versicherungskonzepts für den deutschen Markt und weitere europäische Länder. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Bildung einer Partnerschaft mit dem Versicherungsunternehmen Allianz zur Bereitstellung eines Versicherungspakets für die Zeit der

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Anmietung privater Fahrzeuge über Drivy.
#2: Start von Drivy in Berlin (November 2014 – März 2015)	*Lokale institutionelle Faktoren: Investitionen der Risikokapitalgeber unterstützen die Einführung der App in Berlin*	*Unterstützend:* Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln	*Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ)*: Drivy richtet eine deutsche Niederlassung mit Sitz in Berlin ein, um seinen Vermittlungsdienst in Deutschland zu starten. *Skalen- und ressortübergreifende Mediation:* Koordination von Aufgaben zwischen der Zentrale in Frankreich und der deutschen Niederlassung.
	Lokale institutionelle Faktoren: Günstige Rahmenbedingungen für Start-Up Unternehmen	*Unterstützend:* Berlin ist wegen seiner günstigen Rahmenbedingungen attraktiv für Start-Ups, unter anderem aus der Tech-Branche.	
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Bekanntheit des Carsharing-Konzepts	*Unterstützend:* Zum Zeitpunkt der Einführung von Drivy war Carsharing in Berlin bereits weit verbreitet	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Drivy erhält weitere finanzielle Mittel von den Investoren und kann diese für MarketingHandlungen einsetzen. *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ):* Drivy wirbt über verschiedene Kanäle für seine App.
#3: Ausweitung auf weitere deutsche Städte (Januar – April 2015)	*Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):* Fehlende Bekanntheit des Carsharing-Konzepts in bestimmten Regionen	*Hemmend:* In bestimmten Regionen sind die Anwohner nicht mit dem Konzept des Carsharings vertraut	*Herausforderung für Stärkung der Sichtbarkeit:* Der Markteinstieg in Regionen mit geringer Vertrautheit mit Carsharing erfordert einen hohen Marketingaufwand. *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ):* Drivy führt
	Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite): Gute Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel in den Städten	*Unterstützend:* Stadtbewohnerinnen und -bewohner sind nicht auf ein eigenes Auto angewiesen	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			schrittweise fokussierte Marketingmaßnahmen in Großstädten durch und wählt dabei Städte, in denen Carsharing bereits etabliert und bekannt ist.
#4: Übernahme des Konkurrenten Autonetzer (Mai 2015)	*Lokale institutionelle Faktoren:* Das Erreichen positiver Netzwerkeffekte sind Anreiz für Zusammenschluss	*Unterstützend:* Sowohl Drivy als auch Autonetzer haben Interesse an einen Zusammenschluss	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Drivy gewinnt weitere Investoren und erhält eine weitere Finanzierungsrunde. *Anbindung der Innovation an den Kontext (Transformativ)*: Drivy kauft den Vermittlungsdienst Autonetzer auf und wird dadurch zum größten Peer-to-Peer Carsharing-Anbieter auf dem deutschen Markt.
	Lokale institutionelle Faktoren: Investitionen der Risikokapitalgeber ermöglichen die Übernahme von Autonetzer	*Unterstützend:* Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln	
#5: Einführung der Drivy Open Technologie (März – Dezember 2016)	*Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):* Verfügbarkeit von Technologie zum Öffnen des Autos per Smartphone	*Unterstützend:* Die Technologie ist kostengünstig und kann Carsharing-Angebote attraktiver und effizienter machen, indem sie die Schlüsselübergabe ersetzt	*Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):* Drivy gewinnt weitere Investoren und erhält eine weitere Finanzierungsrunde. *Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung*): Entscheidung, Technologie zum Öffnen des Autos per Smartphone App einzusetzen für das private Carsharing. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Drivy entwickelt die Software für die Drivy Open Technologie und arbeitet für die
	Lokale institutionelle Faktoren: Investitionen der Risikokapitalgeber ermöglichen die Einführung der Drivy Open Technologie	*Unterstützend:* Verfügbarkeit von finanziellen Mitteln	

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Entwicklung der Hardware mit dem Marktführer zusammen. *Skalen- und ressortübergreifende Mediation:* Austausch von Wissen zwischen der Zentrale in Frankreich und der deutschen Niederlassung nach Erprobung der Technologie. *Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):* Drivy bildet ein Netzwerk mit lokalen beziehungsweise mobilen Werkstätten für die Installation der Drivy Open Hardware in Deutschland.
#6: Heutiger Stand: weitere Wachstumspläne	*Anreize und Regulierungen:* Carsharinggesetz fördert ausschließlich gewerbliches Carsharing	*Hemmend:* gewerbliches Carsharing erhält Sonderrechte (Parkplätze), privates aber nicht.	*Herausforderungen für das Setzen von Rahmenbedingungen (Orchestrierung):* Private Carsharing-Anbieter wie Drivy werden nicht im Rahmen des Carsharing-Gesetzes gefördert und es fehlt zudem Rechtssicherheit für die Frage, ab wie vielen Einnahmen eine Privatperson ihr Auto „gewerbsmäßig“ vermietet.
	Lokale institutionelle Faktoren: Dynamische Marktentwicklung von Carsharing in Deutschland	*Unterstützend:* Die Anzahl von alternativen und innovativen Mobilitätsangeboten steigt, wodurch sich auch deren Bekanntheit und Akzeptanz erhöht	*Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung*): Drivy strebt weiteres Wachstum innerhalb Deutschlands an. *Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation (Transformativ):* Vermarktung der Innovation über TV-

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Handlungen
			Kampagne , Plakatwerbung und soziale Medien.

3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad

Im Entwicklungspfad kamen unterschiedliche Einflussfaktoren zum Tragen, welche unterstützend oder hemmend auf die einzelnen Entwicklungsmomente gewirkt haben. Die überwiegende Anzahl der identifizierten Faktoren wirkte unterstützend auf die Entwicklung der Infrastrukturkopplung. Die Innovation wurde von Einflüssen auf der Angebotsseite (*lokale-institutionelle (Markt-)Faktoren und technische Entwicklungen*) sowie der Nachfrageseite (*Metafaktoren und sozio-kulturelle Faktoren*) vorangetrieben. Insbesondere Entwicklungen auf der Nachfrageseite, wie Veränderungen im Mobilitätsverhalten und Bedarf nach alternativen Mobilitätsangeboten, haben den gesamten Entwicklungspfad geprägt. Damit wird deutlich, dass soziale Aspekte eine wichtige Rolle für die Innovation spielten.

Lokale-institutionelle Einflussfaktoren[20] kamen in fast allen Entwicklungsmomenten zum tragen. Ein Grund dafür ist, dass die Carsharing-App Drivy vorwiegend von Marktakteuren vorangetrieben wurde und vor diesem Hintergrund bestehende und sich verändernde Wettbewerbs- und Marktstrukturen eine wichtige Rolle spielten. Zentral waren dabei die Investitionen der Risikokapitalgeber. Über mehrere Finanzierungsrunden erhielt Drivy Kapital und verfügte dadurch über ausreichende finanzielle Mittel, um zunächst den Start der Plattform in Berlin umzusetzen, Kapazitäten in Deutschland aufzubauen und Marketingmaßnahmen durchzuführen. Später ermöglichten die Investitionen die Übernahme des Konkurrenten Autonetzer sowie die Einführung und Verbreitung der Drivy Open Technologie. Die Marktstruktur in Deutschland mit seiner großen Anzahl an Privatautos einerseits und potenziellen Nutzern andererseits sowie die guten Rahmenbedingungen für Start-Up-Unternehmen in Berlin begünstigten die Umsetzung der Infrastrukturkopplung in Deutschland. Gleichzeitig übten die hohen Kosten, die für Autobesitzerinnen und -besitzer anfallen, Druck auf das bestehende Regime aus und begünstigten somit die Innovation. Das einzige Hemmnis bei der Planung der Umsetzung Drivys in Deutschland stellten die bestehenden KfZ-Versicherungsmodelle dar, welche nicht auf privates Carsharing ausgelegt waren. Für die Übernahme des Konkurrenten Autonetzer waren die vorhandenen Wettbewerbsstrukturen auf dem deutschen Markt maßgeblich: Beide Unternehmen boten einen sehr ähnlichen Marktplatz an und konkurrierten um den gleichen Nutzerkreis. Da beide auf eine große Anzahl an Nutzerinnen und Nutzern (sowohl als Autoanbieter als auch -nachfrager) angewiesen waren, erschien ein Zusammenschluss sinnvoll.

Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen) wirkten vorwiegend unterstützend auf die Vorbereitung, Einführung und Verbreitung der Infrastrukturkopplung. Ein zentraler Faktor war das veränderte Mobilitätsverhalten der Deutschen hin zu weniger Autobesitz und insgesamt weniger Autofahrten. Daraus entstand ein Bedürfnis nach alternativen Mobilitätsangeboten, welches das Interesse an der Innovation stärkte. Das Interesse an der Ökonomie des Teilens („Sharing Economy“) erhöhte die Bereitschaft in der Gesellschaft, private Fahrzeuge auszuleihen beziehungsweise zu verleihen. Insbesondere bestehende, erfolgreiche Tauschbörsen aus anderen Sektoren (zum Beispiel Wohnungen oder Kleidung; siehe Gossen,

[20] Lokale institutionelle Faktoren beziehen sich auf bestehende oder sich verändernde institutionelle Rahmenbedingungen im System (zum Beispiel Praktiken, Gesetze, Markstrukturen).

M. u. a., 2016) haben die Idee der Sharing Economy und deren ökonomische und ökologische Vorteile bekannt gemacht.
Darüber hinaus ist die Bekanntheit des Sharing-Konzepts im Allgemeinen und des Carsharings im Besonderen ein wichtiger Einflussfaktor. Durch die Präsenz von gewerblichen Carsharing-Anbietern in Berlin und vielen anderen deutschen Städten war die lokale Bevölkerung bereits grundsätzlich mit dem Carsharing-Konzept vertraut. Dies erhöhte die Akzeptanz für die Nischeninnovation, während gleichzeitig in Regionen, in denen Carsharing-Anbieter bisher nicht vertreten sind, die fehlende Bekanntheit des Konzepts das bestehende Regime stärkte und ein Hemmnis für die deutschlandweite Expansion der Infrastrukturkopplung darstellte (Nelskamp 2017, mündlich). In diesem Sinne unterstützt heute die dynamische Marktentwicklung von Carsharing in Deutschland (*lokaler institutioneller Faktor)* die Kopplung, da die steigende Anzahl an alternativen und innovativen Mobilitätsangeboten deren Bekanntheit und Akzeptanz erhöht. Dies wiederum erhöht die Wirtschaftlichkeit solcher Angebote. Die Nutzerzahlen für gewerbliches Carsharing in Deutschland sind beispielsweise in den vergangenen Jahren stark gestiegen (BCS - Bundesverband Carsharing, 2017; Riegler u. a., 2016).
Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen) beeinflussten vor allem die Entstehung der Innovation und Planung ihrer Umsetzung in Deutschland. Aufgrund der weiten Verbreitung von IKT und voranschreitenden Digitalisierung vieler Lebensbereiche gab es eine Vielzahl potenzieller Nutzerinnen und Nutzer für die Carsharing App. Zudem erhöhte das gestiegene Bewusstsein für Umweltprobleme und Ressourcenknappheit in der Gesellschaft die Bereitschaft der Menschen, auf ein eigenes Auto zu verzichten beziehungsweise das eigene Auto mit anderen Nutzerinnen und Nutzern zu teilen. Dies trifft jedoch nicht auf alle Nutzer zu – das Hauptargument für die Nutzung der Innovation wird in ökonomischen Vorteilen gesehen (Nelskamp 2017, mündlich).
Technische Entwicklungen auf der lokalen Angebotsseite haben den Entwicklungspfad der Carsharing-App Drivy in verschiedenen Momenten unterstützt. Insbesondere für die Planung der Umsetzung Drivys in Deutschland und die Ausweitung auf weitere Städte eröffneten technische Entwicklungen Veränderungsfenster gegenüber dem bestehenden Regime. So begünstigten die Verbreitung alternativer Mobilitätskonzepte, Veränderungen in der urbanen Verkehrsplanung sowie die Verfügbarkeit öffentlicher Verkehrsmittel in Städten den Verzicht vieler Menschen auf den Besitz eines eigenen Autos. Die Verfügbarkeit von Technologie zum Öffnen des Autos per Smartphone ermöglichte es, privates Carsharing attraktiver und effizienter zu machen. Die Einführung der Drivy Open Technologie war allerdings mit Herausforderungen verbunden: Informationen zur Technologie und insbesondere zu deren Nutzen für Autovermieterinnen und -vermieter mussten an die entsprechende Zielgruppe herangetragen und lokale Partner für die Installation gefunden werden.
Anreize und Regulierungen spielen lediglich für den heutigen Stand der Infrastrukturkopplung eine Rolle, da der Carsharing-Markt zuvor weitgehend unreguliert blieb. Da das Carsharing-Gesetz die Förderung von privaten Carsharing (zum Beispiel durch kostenlose und reservierte Parkplätze) ausschließt, wird die Entwicklung der Infrastrukturkopplung zunächst gebremst. Allerdings entsteht hierbei kein maßgeblicher Wettbewerbsnachteil gegenüber dem

gewerblichen Carsharing, da das Angebot von Drivy auf eine unterschiedliche Mietdauer abzielt[21] (Nelskamp 2017, mündlich).

3.2 Akteure und Handlungen im Entwicklungspfad

In diesem Abschnitt fokussieren wir uns auf die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung bestimmt haben. Dies ermöglicht es herauszustellen, wie Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind, um die Kopplung voranzutreiben. Es zeigt außerdem bestehende Herausforderungen auf. Wir analysieren insbesondere die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen, die innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Aufgrund der Datenlage können einige der Akteure und Handlungen nur implizit benannt werden (siehe Fußnote 1). Tabelle 18 gibt eine Übersicht über die Transformativen und Orchestrierungs-Handlungen der Akteure innerhalb der Entwicklungsmomente und in Bezug auf die Einflussfaktoren.
Tabelle 19 gibt eine Übersicht über die an dem Entwicklungspfad beteiligten Akteure und deren Rollen. Die Peer-to-Peer Carsharing-App Drivy wurde vorwiegend von Marktakteuren vorangetrieben; es gab keine öffentliche Beteiligung oder Förderung. Der zentrale Akteur ist das Unternehmen Drivy, welches die Infrastrukturkopplung initiiert und umsetzt hat. Drivy agierte dabei auf mehreren Entscheidungsebenen: die Zentrale in Paris leitet das in mehreren Ländern aktive Unternehmen; die Niederlassung in Deutschland mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Berlin setzte zunächst die Infrastrukturkopplung lokal in Berlin um, dann in einzelnen weiteren Städte und schließlich deutschlandweit. Weitere Marktakteure unterstützten die Entwicklung der Infrastrukturkopplung. Das Versicherungsunternehmen Allianz kooperierte mit Drivy und ermöglichte so die Initiierung der Carsharing-App in Deutschland. Verschiedene Risikokapitalgeber förderten die Umsetzung der Infrastrukturkopplung mit finanziellen Mitteln und standen Drivy mutmaßlich bei strategischen Entscheidungen beratend zur Seite.

Tabelle 19: Akteure und ihre Handlungen im Entwicklungspfad der Peer-to-Peer Carsharing-App Drivy

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Drivy • Zentrale mit Hauptsitz in Paris • Drivy Team Deutschland mit Sitz in Berlin	Supranational Lokal (zunächst nur Berlin) National	Markt	Planung, Initiierung, Umsetzung, Verwaltung Managen der Kopplung
Allianz	National Supranational	Markt	Unterstützen der Kopplung durch Bereitstellung eines Versicherungspakets

[21] Das Drivy-Angebot ist auf die Nutzung der Fahrzeuge für mehrere Tage spezialisiert und konkurriert daher weder mit den gewerblichen free-floating, noch mit den stundenweisen stationsbasierten Carsharing-Angeboten.

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Risikokapitalgeber: Index Ventures, Alven Capital, BPI France, Via-ID, Cathay Capital, Nokia Growth Partner (NGP)	Supranational	Markt	Finanzielle Förderung der Kopplung Begleiten der Kopplung (zum Beispiel durch Unterstützung bei strategischen Entscheidungen)
Autonetzer	National	Markt	Nicht direkt involviert, aber durch Aufkauf von Drivy Erweiterung des Nutzerkreises
Nutzerinnen und Nutzer (Autovermietende und -mietende)	National	Markt	Nutzung des Vermittlungsdienstes
Bundestag	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Gesetzgeber
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Gesetzgeber

3.2.1 Transformative Handlungen

Transformative Handlungen zeigen sich in der Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung, der Anbindung der Innovation an den Kontext und Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation. Diese Handlungen hat hauptsächlich das Unternehmen Drivy vorangetrieben. *Handlungen zur Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung* fanden vor allem während des ersten Entwicklungsmoments statt. Die Basis für die Innovation war die Leitidee von Paulin Dementhon, private Fahrzeuge besser auszulasten indem sie anderen Privatpersonen für bestimmte Zeiträume zur Miete angeboten werden. Mit Hilfe dieser Leitidee entwickelte Dementhon ein Konzept für eine online-gestützte Kontaktvermittlung zwischen Autobesitzerinnen und -besitzern und potenziellen Automieterinnen und -mietern, welches die Geschäftsidee für das Unternehmen Drivy wurde. Eine Hürde für die Akzeptanz von Carsharing zwischen Privatpersonen war die Versicherungslage für die Zeit der Anmietung. Die Lösung für dieses Problem war bereits Teil von Dementhons Geschäftsidee – ein zusätzlicher Versicherungsschutz sollte während der Mietzeiten eintreten. Dementhon gewann ein französisches Versicherungsunternehmen als Kooperationspartner. Diese Partnerschaft ermöglichte die Umsetzung der Innovation in Frankreich. Für die Einführung in den deutschen Markt und die weitere Internationalisierung entwickelte Drivy das Versicherungskonzept weiter und schloss schließlich eine Partnerschaft mit dem Versicherer Allianz. Zur Vorbereitung der Einführung in Berlin fanden Planungsarbeiten statt, welche die Anpassung und Weiterentwicklung der Software, Marktanalyse und strategische Planung einschlossen. Ein wichtiges innovatives Element in der weiteren Entwicklung des Vermittlungsdienstes war die Einführung der Drivy Open Technologie für die Öffnung der Türen per App. Drivy entwickelte die Software und kooperierte für die Entwicklung der Hardware mit dem Marktführer für diese Technologie. Für die Installation der Hardware in Privatautos kooperierte Drivy mutmaßlich mit lokalen Partnern, zum Beispiel in der jeweiligen Region ansässigen oder mobilen Werkstätten.

Um die *Innovation an den Kontext anzubinden*, gründete Dementhon das Unternehmen Voiturelib in Frankreich, was er später in Drivy umbenannte. Das Unternehmen entwickelte die Software für die App, stellte diese online und nahm den Betrieb des Vermittlungsdienstes in Frankreich auf. Um nach Deutschland und in andere europäische Länder expandieren zu können, entwickelte Drivy das Versicherungskonzept weiter und suchte nach einem Versicherungspartner für die Internationalisierungsstrategie. Für die institutionelle Einbindung in Deutschland richtete Drivy eine Niederlassung mit Sitz in Berlin ein. Ein dreiköpfiges Team in Berlin übernahm die Kundenbetreuung, Umsetzung von Marketingmaßnahmen und lokale Anpassungen von Software und Prozessen für den Vermittlungsdienst in Deutschland. Durch den Aufkauf von Autonetzer – derzeit neben Drivy der größte Anbieter für privates Carsharing in Deutschland – konnte Drivy seinen Nutzerkreis sowie sein Angebot erweitern und somit seinen Vermittlungsdienst innerhalb Deutschlands skalieren.
Handlungen zur Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation hatten eine zentrale Bedeutung für die Carsharing-App, da ihre Funktionalität von einer ausreichend großen Nutzerzahl abhängig ist. Daher war Marketing eine der Hauptaufgaben des Drivy Teams in Deutschland. Marketingmaßnahmen dienten dazu, einen Nutzerkreis aufzubauen und zu vergrößern, neue Marktsegmente zu erschließen und schließlich auch Unterstützung von Investoren einzuwerben. Spezielle Herausforderungen für Drivy bestanden darin, möglichst schnell genügend Nutzer und Nutzerinnen zu gewinnen, um den Vermittlungsdienst attraktiv zu machen (positiver Netzwerkeffekt). Um dies mit begrenzten Marketinggeldern zu erreichen, wählte das Unternehmen aus strategischen Gründen zunächst Berlin als den Standort für seinen Markteintritt in Deutschland. Eine Vielzahl an Carsharing- und Ridesharing-Anbietern waren in Berlin vertreten und die Hauptstadtbewohnende galten als besonders offen für und vertraut mit alternativen Mobilitätsangeboten (vgl. Schwarz, 2014; Sutter et al., 2017). Drivy konnte die hohe Akzeptanz für Carsharing nutzen und sein Marketing darauf aufbauen. Für die Expansion innerhalb Deutschlands stand Drivy für jede einzelne Stadt beziehungsweise Region erneut vor der Herausforderung, ausreichend Angebot und Nachfrage zu generieren um den Vermittlungsdient attraktiv zu machen. Zusätzlich stellte die fehlende Bekanntheit des Carsharing-Konzepts in bestimmten Regionen ein Hemmnis für die deutschlandweite Expansion dar, da der Markteinstieg dort mit einem höheren, kostenintensiveren Marketingaufwand verbunden war (Nelskamp 2017, mündlich). Hier verfolgte das Unternehmen die Strategie, sich schrittweise auf die größten deutschen Städte mit existierenden Carsharing-Angeboten zu konzentrieren und die Marketinggelder gezielt einzusetzen. Unterstützend für die MarketingHandlungen war die Verfügbarkeit finanzieller Mittel aus den Finanzierungsrunden der Kapitalgeber. Marketingmaßnahmen spielten auch für die Einführung der Drivy Open Technologie eine zentrale Rolle. Da die neue Technologie mit zusätzlichen Kosten für die Autovermieterinnen und -mieter verbunden war, musste neben Informationen zur Technologie insbesondere der Nutzen an die entsprechende Zielgruppe herangetragen werden. Ähnlich wie bei der Einführung des Vermittlungsdienstes in Deutschland führte Drivy die Technologie zunächst in Berlin und dann schrittweise in weiteren Städten ein. Als Anreiz bot Drivy für die ersten 100 Autobesitzerinnen und -besitzer die kostenlose Nutzung der Technologie für sechs Monate an. Für das angestrebte weitere Wachstum des Unternehmens innerhalb Deutschlands

führt Drivy weiterhin MarketingHandlungen durch. Beispielsweise gab es im Sommer 2016 eine deutschlandweite TV-Kampagne sowie Plakatwerbung in Berlin und München. Bei letzterer wurden die Nutzerinnen und Nutzer aktiv über Social-Media-Kanäle in die Werbekampagne eingebunden: Wer Plakate auf öffentlichen Plätzen abfotografierte und über Twitter, Instagram oder Facebook verbreitete, erhielt einen Gutschein über 25 Euro für den Vermittlungsdienst (Drivy Blog, 2016c).

3.2.2 Orchestrierungs-Handlungen

Orchestrierungs-Handlungen zeigen sich in strategischer Richtungssetzung, skalen- und ressourcenübergreifenden Mediation und dem Setzen von Rahmenbedingungen um Handlungskohärenz herzustellen und das Handeln von unterschiedlichen Akteuren zu koordinieren.

Ein wichtiger Schritt bei der *strategische Richtungssetzung* war die Entwicklung einer Internationalisierungsstrategie. Neben Drivy waren hierbei auch die Risikokapitalgeber beteiligt: Zum einen ermöglichten ihre Investitionen in das Unternehmen eine Expansion, zum anderen waren sie im Rahmen von regelmäßig stattfindenden Board-Meetings an strategischen Entscheidungen beteiligt (Nelskamp 2017, mündlich). Nach der erfolgreichen Umsetzung der Infrastrukturkopplung in Frankreich wurde entschieden, als erstes nach Deutschland zu expandieren. Faktoren, die diese Entscheidung beeinflusst haben, waren vor allem das große Marktpotential sowie der Bedarf an Mobilitätsangeboten alternativ zum Autobesitz (L. Bay, 2015; Schwarz, 2014). Eine weitere nennenswerte Strategie war die schrittweise Expansion des Vermittlungsdienstes innerhalb Deutschlands. Dabei entschied sich Drivy, zunächst auf Standorte zu fokussieren, in denen Carsharing bereits gut etabliert war: „Carsharing Hauptstädte sind Berlin, Hamburg und München, zum Teil Köln. Da funktioniert Carsharing am allerbesten, einerseits durch die hohe Einwohnerdichte, andererseits weil die Menschen offen sind für das Thema und weil es sehr bekannt ist, wie Carsharing funktioniert.“ (Nelskamp 2017, mündlich). In der weiteren Entwicklung war Drivy vor allen von den Zielen geleitet, weiter zu wachsen und die Nutzerfreundlichkeit seines Vermittlungsdienstes weiter zu erhöhen (B. Bay, 2016; L. Bay, 2015). Strategisch relevant war die Einführung der Drivy Open Technologie, mit der Drivy als erster Peer-to-Peer Anbieter Fahrzeuge anbot mit dem gleichen technologischen Standard wie gewerbliche Carsharing-Anbieter (B. Bay, 2016). Für den heutigen Stand ist die strategische Ausrichtung auf mehr Wachstum zu nennen.

Eine wichtige *Setzung von Rahmenbedingungen* erfolgte durch die Gewinnung von Investoren. Aus den Finanzierungsrunden wurden finanzielle Mittel verfügbar für den Aufbau von Kapazitäten und MarketingHandlungen in Deutschland, was Drivy den Markteinstieg und die anschließende Ausweitung auf weitere Städte erleichterte. Die Verfügbarkeit finanzieller Mittel ermöglichte es Drivy zudem, den größten Konkurrenten auf dem deutschen Markt aufzukaufen und dadurch seine Marktposition maßgeblich zu verbessern. Eine Herausforderung kann in dem Fehlen von gesetzlichen Rahmenbedingungen für privates Carsharing gesehen werden. Eine Förderung im Rahmen des neuen Carshariinggesetzes hätte Drivy einen weiteren Wachstumsschub geben können (Nelskamp 2017, mündlich), zum heutigen Stand wird allerdings lediglich gewerbliches Carsharing gefördert. Darüber hinaus herrscht bis heute

fehlende Rechtssicherheit darüber, ab wann das Vermieten des eigenen Autos gewerbsmäßig wird (Harder, 2014; Schmidt, 2014). Diese Frage könnte zukünftig insbesondere mit Blick auf die angestrebte Ausweitung der Divy Open Technologie relevant werden, da diese es den teilnehmenden Autobesitzerinnen und –besitzern ermöglicht, ihre Fahrzeuge häufiger zu verleihen und dadurch mehr Einnahmen zu generieren.
Handlungen zu *skalen- und ressortübergreifenden Mediation* umfassten die Koordination von Handlungen und den Austausch von Erfahrungen zwischen der Zentrale in Frankreich und der Niederlassung in Deutschland. Nach der Gründung der deutschen Niederlassung in Berlin übernimmt das Drivy Team Deutschland die Kundenbetreuung, Vermarktung und lokale Anpassung der Vermittlungsplattform in Deutschland während die Leitung bei der Zentrale in Frankreich liegt. Insbesondere für die Erprobung der Drivy Open Technologie wurde nach einer einjährigen Testphase in Frankreich das generierte Wissen und Gelernte an das Drivy Team in Deutschland vermittelt.

4 Beitrag zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastrukturkopplung durch ihren Entwicklungspfad zu einer Nachhaltigkeitstransformation beiträgt. Durch die funktionalen und geographischen Systemgrenzen ist die Frage nach einer Nachhaltigkeitstransformation auf die Personenmobilität in Deutschland begrenzt. Hierzu beschreiben wir einerseits den Nachhaltigkeitsbeitrag des Vermittlungsdienstes Drivy und andererseits sein transformatives Potential beziehungsweise seine transformative Wirkung.

4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Carsharing-App Drivy wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 (Schiller et al. 2016, Hölscher et al. 2019) analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Leistungsfähigkeit, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourceneffizienz und -schonung, (4) Versorgungssicherheit.

Leistungsfähigkeit der Kopplung
Die Leitidee von Drivy war es, durch das Teilen von Privatautos deren Nutzungsintensität zu erhöhen. Dies konnte umgesetzt werden; die Infrastrukturkopplung ist grundsätzlich dafür geeignet, die Auslastung privater Fahrzeuge deutlich zu erhöhen. Einen signifikanten Beitrag zur Deckung der Mobilitätsbedarfe kann Drivy als einzelner Anbieter jedoch nicht leisten. Einen solchen Beitrag kann der Vermittlungsdienst mittelfristig dann leisten, wenn er in der Summe mit anderen sowohl privaten als auch gewerblichen CS-Anbietern betrachtet wird. Zusammen sind die verschiedenen Anbieter zum einen in der Lage, eine ausreichende Anzahl an Fahrzeugen bereitzustellen und zum anderen, verschiedene Anwendungsfälle abzudecken (zum Beispiel sowohl Fahrten von A nach B als auch Ausleihe und Rückgabe am gleichen Ausgangspunkt; sowohl stündliche als auch tageweise Anmietung) (Nelskamp 2017, mündlich). Für Fahrzeuganbietende und -mietende ist für die Nutzung von Drivy kein erhöhtes technisches Verständnis notwendig - die Anbieter müssen lediglich mit eine Smartphone- bzw-

Webapplikation umgehen können (Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich). Die Leistungsfähigkeit des App-basierten Vermittlungsdienstes wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Durch die Digitalisierung vieler Lebensbereiche ist die Infrastrukturkopplung für fast alle potenziellen Nutzerinnen und Nutzer in Deutschland zugänglich.
- Die Verfügbarkeit von Technologie zum Öffnen des Autos per Smartphone ermöglichte deren Einsatz im Bereich des privaten Carsharings. Mithilfe der Technologie lässt sich die Nutzungsintensität von Privatautos weiter erhöhen, das heißt Fahrzeuge können häufiger innerhalb einer bestimmten Zeitspanne über Drivy vermietet werden.
- Drivy legt Wert auf gute Kundenbetreuung und die stetige Verbesserung des Vermittlungsdienstes (zum Beispiel durch regelmäßige Software-Updates) und macht dadurch die Plattform attraktiv.
- Die hohen Kosten, die mit dem Besitz eines Autos verbunden sind, wirken als Anreiz für Autobesitzerinnen und -besitzer, einen Teil der Kosten durch Vermietung via Drivy zu decken.
- Um die Nutzung des Vermittlungsdienstes attraktiv zu machen, ist der Aufbau eines großen Nutzerkreises in jeder Stadt beziehungsweise Region notwendig. Mit gezielten Marketingmaßnahmen ist Drivy dies gelungen – positive Netzwerkeffekte wurden erreicht.

Soziale und ökonomische Verträglichkeit

Da die Registrierung bei Drivy sowohl für Fahrzeugmietende als auch -vermietende kostenlos und die Bedienung der App einfach gestaltet ist, bestehen keine beziehungsweise sehr geringe Einstiegshürden für die Nutzung des Vermittlungsdienstes. Für Fahrzeugsuchende bietet Drivy ein kostengünstigeres Mobilitätangebot im Vergleich zu klassischen Mietwagenfirmen (Nelskamp 2017, mündlich). Gleichzeitig sind auf der Plattform sehr verschiedene Fahrzeugmodelle und damit auch Preisklassen verfügbar, wodurch eine hohe soziale und ökonomische Verträglichkeit aus der Perspektive der Mietenden gegeben ist. Langfristig betrachtet reduzieren sich die Mobilitätskosten für Drivy-Nutzerinnen und -Nutzer im Vergleich zur Nutzung eines Privatautos als Hauptfortbewegungsmittel. Entscheidend ist dabei, dass Nutzerinnen und -Nutzer von privaten – wie auch gewerblichen – Carsharing ihre Mobilität multimodal organisieren, das heißt das über Drivy ausgeliehene Auto wird als ein Baustein neben beispielsweise öffentlichen Verkehrsmitteln oder dem Fahrrad genutzt (Sauter-Servaes 2017, mündlich).

Für Vermietende entstehen zunächst für das Einstellen von Fahrzeugen auf der Plattform keine Kosten, sondern lediglich Zeitaufwand. Dafür erhalten sie die Möglichkeit, durch das kurzzeitige Vermieten Ihres Fahrzeuges Geld dazu zu verdienen und somit die hohen Kosten für den Autobesitz teilweise auszugleichen. Zusätzliche Investitionen werden allerdings erforderlich, wenn Fahrzeugbesitzerinnen und -besitzer die Drivy Open Technologie nutzen möchten: für die Hardware fallen etwa 30 Euro monatlich an (Nelskamp 2017, mündlich). Drivy Open vereinfacht den Anmietprozess und ermöglicht es dadurch, Fahrzeuge mit weniger Aufwand und häufiger zu vermieten. Dennoch bringe das Anbieten des eigenen Autos bei Drivy nicht mehr als einen

Zusatzverdienst für private Autobesitzerinnen und -besitzer – eine gewinnbringende Vermietung (wie sie zum Beispiel bei der Sharing-Plattform Airbnb möglich ist) sei dagegen derzeit nicht zu beobachten (Nelskamp 2017, mündlich).
Durch den Vermittlungsdienst werden zusätzliche Mobilitätsoptionen verfügbar – bisher allerdings hauptsächlich in Gebieten Deutschlands, in denen auch gewerbliche Carsharing-Anbieter etabliert sind (Nelskamp 2017, mündlich). Da Drivy's Angebot sich von stündlichen oder minütlichen Carsharing-Angeboten unterscheidet und andere Mobilitätsbedarfe abdeckt, entsteht dennoch ein zusätzlicher Nutzen. In ländlicheren Gebieten, in denen es bislang an Alternativen zum privaten PKW als Fortbewegungsmittel mangelt, ist häufig auch das Angebot des Vermittlungsdienstes Drivy schwach ausgeprägt. Hier wird allerdings Potenzial für den Ausbau von privaten Carsharing gesehen (Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich).Die Soziale und ökonomische Verträglichkeit der Infrastrukturkopplung wurde vor allem durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Verändertes Mobilitätsverhalten: Die Deutschen bewegen sich zunehmend multimodal fort, das heißt sie nutzen neben dem Auto häufiger das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel und alternative Mobilitätsoptionen wie Carsharing und Ridesharing. Gleichzeitig ist die Bereitschaft gestiegen, auf ein eigenes Auto zu verzichten.
- Es besteht eine Nachfrage nach alternativen Mobilitätsoptionen, da eine gestiegene Anzahl an Menschen in Deutschland kein eigenes Auto besitzt. Während für tägliche Fahrten zur Arbeit, Schule, Universität etc. öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad genutzt werden können, haben bleibt für bestimmte Strecken (zum Beispiel Großeinkauf oder spontane Wochenendausflüge) der Bedarf nach der Nutzung eines Autos bestehen.
- Gewerbliches Carsharing mit minuten- oder stundenweiser Abrechnung ist nicht praktikabel und teilweise zu teuer für bestimmte Mobilitätsbedürfnisse (zum Beispiel spontane Wochenendausflüge).
- Die hohen Kosten, die mit dem Besitz eines Autos verbunden sind, wirken als Anreiz für Autobesitzerinnen und -besitzer, einen Teil der Kosten durch Vermietung via Drivy zu decken.
- Das Carsharing-Konzept ist vielen Deutschen bekannt und insbesondere viele Großstadtbewoherinnen und -bewohner haben bereits Erfahrungen mit Carsharing gesammelt. Dadurch ist die Einstiegshürde für privates Carsharing geringer.

Ressourcenschonung und -effizienz
Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei Drivy um ein privates Unternehmen handelt, welches sich keine expliziten Ziele bezüglich Klima- und Ressourcenschutz gesetzt hat. Dennoch besteht das Potential, dass die Infrastrukturkopplung eine entlastende Wirkung auf die Umwelt entfaltet. Während repräsentative Studien zuprivaten Peer-Sharing bislang fehlen, wird die Umweltwirkung von gewerblichem Carsharing in der Fachliteratur divers diskutiert: „Für das gesamte Carsharing gibt es verschiedenste Studien, und je nach Auftraggeber fallen sie mal so und mal so aus“ (Nelskamp 2017, mündlich; siehe auch Duong u. a., 2016). Kernfrage ist dabei, ob die Teilnahme am Carsharing dazu führt, dass Menschen statt mit dem privaten PKW insgesamt häufiger öffentliche Verkehrsmittel und das Fahrrad benutzen und nur bestimmte

Strecken mit dem Carsharing-Auto zurücklegen - und ob die Carsharing-Angebote dazu beitragen, dass Nutzerinnen und Nutzer das eigene Auto abschaffen. Aktuelle Erhebungen zu gewerblichem Carsharing zeigen, dass tatsächlich ein Teil der Nutzerinnen und Nutzer nach Beitritt zu einem Carsharing-System das eigene Auto abschafft (Loose, 2016[22]; Riegler u. a., 2016). Zudem bestärken die Angebote autofreie Haushalte darin, weiterhin autofrei zu bleiben (Loose, 2016). Laut Bundesverband für Carsharing könne in den Städten ein Carsharing Auto etwa 15 private PKWs ersetzen, und so zu einer Entlastung des Verkehrs, Verringerung der Luft- und Lärmbelastung und freiwerdenden Parkraum führen würde (ebenda). Kritische Stimmen dagegen argumentieren, dass die Nutzung von Carsharing – insbesondere von stationsunabhängigen Systemen – häufig Fahrten mit dem ÖPV oder Fahrrad ersetzt (zum Beispiel Brockmeyer & Weigele, 2014). In diesem Zusammenhang wird von einer „Bequemlichkeitsmobilität" gesprochen – vor allem kurze Strecken, die teilweise zu Fuß zurückgelegt werden könnten, werden durch flexible Carsharing-Angebote abgedeckt : „Viele Fahrten sind wenige Kilometer land und führen nach Feierabend allenfalls von einem Szeneviertel ins nächste – trotz Bus-Monatskarte im Portemonnaie." (Berliner Zeitung, 2017).
In Bezug auf den Vermittlungsdienst Drivy deckt sich folgende Einschätzung der interviewten Experten mit aktuellen Studien zum Mobilitätsverhalten: Privates Carsharing wird als ein Mobilitätsbaustein neben ÖPV, Fahrrad, gewerblichen Carsharing, Bikesharing und Ridesharing genutzt (Duong u. a., 2016; IFMO, 2011; Sutter et al., 2017; Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich). Es wird somit als Ergänzung zum öffentlichen Nahverkehr genutzt und deckt spezifische Mobilitätsbedarfe (zum Beispiel den Transport schwerer Gegenstände). Für regelmäßige Fahrten wäre Drivy jedoch zu teuer (Sauter-Servaes 2017, mündlich).
Privates Carsharing kann dazu beitragen, dass mehr Menschen auf den Besitz eines eigenen Autos verzichten und ihr Mobilitäsverhalten dahingehend ändern, dass sie stärker auf umweltfreundliche Verkehrsmittel wie zum Beispiel Straßenbahn, Bus, Rad oder die eigenen Füße zurückgreifen. Ein weiteres Wachstum von privaten Carsharing könnte unter dieser Voraussetzung langfristig dazu beitragen, dass

- weniger Fahrzeuge gebraucht werden und sich dadurch der Bedarf an Rohstoffen für den Bau von Fahrzeugen verringert;
- der Bedarf an Parkplätzen in städtischen Räumen zurückgeht;
- der Treibhausgasausstoß durch den Betrieb von PKWs sich verringert (Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich).

Aktuell ist privates Carsharing in Deutschland nach Einschätzung der Experten jedoch ein zu kleiner Nischenmarkt, um eine spürbare Wirkung in bezug auf die oben genannten Punkte zu entfalten (Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich). In Bezug auf den Bedarf an Rohstoffen sei außerdem zu bedenken, dass private Fahrzeuge durch die Infrastrukturkopplung intensiver genutzt werden und dadurch möglicherweise häufiger ausgetauscht werden müssen. Dabei spielt das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer eine entscheidende Rolle: Wenn Mietende weniger sorgfältig mit Leihfahrzeugen umgehen als mit

[22] Laut Loose (2016) schafften 18,5% der Befragten in einem Untersuchungsraum aus 12 deutschen Städten ihr Auto nach Anmeldung zum Carsharing ab.

dem eigenen Auto, könnte das dazu führen, dass die Fahrzeuge häufiger ersetzt beziehungsweise mehr Ressourcen in deren Erhalt investiert werden müssen (Sauter-Servaes 2017, mündlich). Auch das Einsparpotenzial für Treibhausgase sollte kritisch betrachtet werden. Da nutzerinnen durch privates Carsharing Geld sparen können, werden diese Ersparnisse möglicherweise an anderer Stelle für treibhausgasintensiven Konsum ausgegeben – zum Beispiel Flugreisen. So kann es zu Rebound- oder sogar Backfiring-Effekten kommen (ebenda). Die Ressourcenschonung und -effizienz des App-basierten Vermittlungsdienstes wurde insbesondere durch folgende Einflussfaktoren geprägt:

- Die gute Verfügbarkeit von öffentlichen Verkehrsmitteln in vielen Städten erleichtert es den Bewohnern und Bewohnerinnen, sich ohne ein eigenes Auto fortzubewegen und begünstigt damit auch die Etablierung von privaten Carsharing als Ergänzung zum ÖPV.
- Die Drivy Open Technologie macht privates Carsharing komfortabler und dadurch attraktiver für Nutzerinnen und Nutzer.
- Ein steigendes Bewusstsein für Umweltproblematiken und Ressourcenknappheit kann ein Grund sein, warum Menschen auf den Besitz eines eigenen Autos verzichten und stattdessen bei Bedarf nach PKW-Mobilität auf privates Carsharing zurückgreifen.

Versorgungssicherheit im Kontext wetterbedingter Störungen

Der Vermittlungsdienst wird als zuverlässig und seine Störungsanfälligkeit als eher gering eingestuft. Technik und Software sind ausgereift und „Kinderkrankheiten“, die zu minutenweisen Ausfällen geführt haben, gehören der Vergangenheit an (Nelskamp 2017, mündlich). Grundsätzlich birgt eine digitale Infrastruktur ein gewisses Gefährdungspotenzial und es kann zu kurzfristigen Server-Ausfällen kommen, welche die Fahrzeugvermittlung für kurze Zeiträume einschränken können. Für solche Fälle stehen Backup-Systeme bereit, sodass Störungen schnell behoben werden können. Insgesamt sei die Störungsanfälligkeit weder höher noch niedriger als bei anderen digital gestützten Diensten (Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich).

Versteht man privates Carsharing als einen Baustein innerhalb der Gesamtheit vielfältiger Mobilitätsoptionen, kann ein gut etablierter Vermittlungsdienst wie Drivy zu einer höheren Resilienz des Mobilitätssystems beitragen. So können Stadtbewohnende beispielsweise im Falle einer wetterbedingten Störung im Schienen- oder öffentlichen Nahverkehr auf privates Carsharing zurückgreifen, um an ihr gewünschtes Ziel zu gelangen.

- Die Drivy-Zentrale ist im Umgang mit Server-Ausfällen oder anderen Störungen im System erprobt und kann auf seine langjährigen Erfahrungen in Frankreich zurückgreifen.
- Das veränderte Mobilitätsverhalten der Deutschen hin zur Nutzung verschiedener Verkehrsträger erleichtert es, im Falle einer Störung bei einem Verkehrsträger (zum Beispiel Straßenbahn) schnell eine Alternative zu finden (zum Beispiel app-gestütztes privates Carsharing).

4.2 Das Transformative Potential und die Wirkung der Infrastrukturkopplung

Das Transformative Potential und die Transformative Wirkung des Vermittlungsdienstes für privates Carsharing Drivy sind daran festzumachen, inwieweit durch die Innovation das dominante Regime der Nutzung des Privatautos als Hauptverkehrsmittel in Deutschland, das heißt auf nationaler Ebene, in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird beziehungsweise werden kann. Drivy weist das Potenzial auf, durch das Angebot einer Alternative zum Autobesitz zu einem veränderten Mobilitätsverhalten in Deutschland beizutragen. Dies trägt dazu bei, die Anzahl privater Fahrzeuge zu reduzieren und die Personenmobilität stärker auf umweltfreundliche Verkehrsträger wie öffentliche Verkehrsmittel oder Fahrrad zu basieren. Die Infrastrukturkopplung kann so zu einem nachhaltige(re)m Verkehrssystem in Deutschland beitragen.
Das Potential des Vermittlungsdienstes wurde in transformative Wirkungen umgesetzt, indem zum einen der Prozess des privaten Carsharings erheblich vereinfacht und praktikabler gemacht wurde, und sich zum anderen Drivy in vielen deutschen Städten etabliert hat. Die Verknüpfung von privaten Carsharing-Fahrzeugen mit IKT und die einfach zu bedienende Web-Applikation haben privates Carsharing für einen größeren Personenkreis zugänglich gemacht. Steigende Nutzerzahlen belegen, dass eine Nachfrage nach dieser Form von Mobilität besteht. Durch die Gewinnung des Versicherungsunternehmens Allianz als Partner und die Entwicklung eines speziellen Versicherungspakets für die Dauer der PKW-Nutzung durch Mietende konnte Drivy eine Barriere für privates Carsharing in Deutschland überwinden und die Innovation im Regime verankern.

Die Transformativen Wirkungen des Vermittlungsdienstes zeigen sich wie folgt:

- Seit dem Start des Vermittlungsdiesntes in Deutschland im Jahr 2014 ist die aktive Nutzerzahl auf etwa 150,000 Personen angewachsen und aktuell sind über 5,000 private Fahrzeuge registriert. Diese Zahlen weisen auf eine grundsätzliche Akzeptanz und auf Interesse an der Infrastrukturkopplung hin.
- Drivy ist neben Tamyca der wichtigste Anbieter von privaten Carsharing in Deutschland
- Drivy hat das Versicherungsproblem für die Zeit, in der Privatautos verliehen werden, gelöst. Versicherungsmodelle für privates Carsharing sind inzwischen auf dem europäischen Markt etabliert.
- Mit der Einführung der Drivy Open Technologie hat Drivy sein Angebot technologisch professionalisiert. Es ermöglicht seinen Nutzerinnen und Nutzern, auch von unterwegs und für spontane Anlässe ein verfügbares Fahrzeug in der Nähe via App zu suchen und nach erfolgreicher Buchung mit dem Smartphone zu öffnen – ohne dass eine persönliche Schlüsselübergabe mit dem Autobesitzer notwendig ist.
- Der Aufkauf von Autonetzer durch Drivy bewirkte eine Konsolidierung des Marktes, die der gesamten Carsharing-Branche in Deutschland potenziell Aufschwung gegeben hat.

Trotz starkem Wachstums des Vermittlungsdienstes in Deutschland bleibt die Wirkung der Infrastrukturkopplung limitiert, da es sich weiterhin um eine „Nische innerhalb der Nische“ handelt (Sauter-Servaes 2017, mündlich): privates Carsharing nimmt einen sehr geringen Anteil

innerhalb des Carsharings in Deutschland ein, wobei auch das gewerbliche Carsharing als Nische anzusehen ist. Dennoch besteht ein großes transformatives Potenzial. Drivy erleichtert es seinen Nutzerinnen und Nutzern, auf den Besitz eines eigenen Autos zu verzichten, beziehungsweise ein autofreies Leben weiterhin beizubehalten, indem es die Möglichkeit zur PKW-Nutzung schafft für Mobilitätsbedürfnisse, die nicht gut durch öffentliche Verkehrsträger oder das Fahrrad abgedeckt werden können. Dies umfasst beispielsweise den Transport schwerer Gegenstände (Möbel- oder Getränkeeinkäufe), spontane Kurzurlaube oder Fahrten in Gebiete, die schlecht mit öffentlichen Verkehrsmitteln zu erreichen sind.
Im aktuellen Regime ist das typische Verhalten von Autobesitzerinnen und –besitzern davon geprägt, dass sie durch die ständige Verfügbarkeit eines PKWs diesen vergleichsweise häufig nutzen (Loose, 2016; Sauter-Servaes 2017, mündlich).

Dies betrifft auch Strecken, für welche ein PKW entweder nicht notwendig ist beziehungsweise nicht das optimale Fortbewegungsmittel darstellt, wie beispielsweise:

- kurze Wege, die mit dem Rad oder sogar zu Fuß zurückgelegt werden könnten;
- Wege, die mit öffentlichen Verkehrsträgern schneller und/oder kostengünstiger zurückgelegt werden könnten.

Drivy stellt den Autobesitz als Normalzustand und das damit verbundene Mobilitätsverhalten in Frage. Somit trägt Drivy zu einer Transformation bei hin zu einem neuen Regime, in dem das Auto zwar als ein Mobilitätsbaustein erhalten bleibt, aber eben nur einen Baustein neben ÖPV, Fahrrad, etc. darstellt. Dies stellt eine Abkehr von der heutigen Dominanz des motorisierten Individualverkehrs dar und birgt hohe Nachhaltigkeitspotenziale (zum Beispiel potenziell weniger Schadstoffausstoß, geringerer Ressourcenverbrauch).

Das noch nicht ausgeschöpfte transformative Potential des Vermittlungsdienstes für privates Carsharing lässt sich wie folgt darstellen:

- Potenzial wird gesehen für den Ausbau von privaten Carsharing in ländlichen Gebieten (Nelskamp 2017, mündlich; Sauter-Servaes 2017, mündlich). Da in ländlichen Regionen der öffentliche Nahverkehr oft weniger gut ausgebaut ist als in den Städten, sind die Anwohnerinnen und Anwohner stärker auf den Besitz eines Fahrzeuges angewiesen. Privates Carsharing könnte hier eine Lücke füllen und bestimmte Mobilitätsbedürfnisse befriedigen (zum Beispiel für Personen, die sich keinen eigenen PKW leisten können) und dazu beitragen, die Anzahl privater PKW zu reduzieren (zum Beispiel zumindest den Zweit- oder Drittwagen eines Haushalts ersetzen). Privates Carsharing sei insbesondere sinnvoll, da es nicht von einer bestimmten Anzahl an Ausleihen pro Monat abhängig ist. Für gewerbliche Anbieter lohne es sich dagegen oft nicht, Carharingflotten in ländlichen Gebieten anzubieten(Sauter-Servaes 2017, mündlich). Zunächst müsse jedoch das Konzept des Carsharings bekannter gemacht werden (Nelskamp 2017, mündlich).
- Privates Carsharing könnte dazu beitragen, Elektromobilität zum Durchbruch zu verhelfen (Riegler u. a., 2016). Für Anbieterinnen und Anbieter könnte der Besitz eines Elektroautos durch dessen Vermietung über Drivy zum Teil mitfinanziert werden

(Nelskamp 2017, mündlich). Mit Blick auf die Mietenden könnte privates Carsharing dazu beitragen, die Akzeptanz für Elektromobilität zu erhöhen: „Kunden können sich ohne große Investitionen von der Alltagstauglichkeit und von den Vorzügen solcher Elektrofahrzeuge ohne Risiko überzeugen“ (Schmidt, 2014). Momentan bestünden allerdings noch zu viele Hürden für Elektromobilität in Deutschland (vor allem fehlende Ladestationen, zu geringe Reichweite der Elektrofahrzeuge, zu hohe Kosten für die Anschaffung) (Schmidt, 2014; Nelskamp 2017; mündlich)

- Die Drivy Open Technologie wird bislang nur in einem Teil der dafür geeigneten Fahrzeuge der Drivy-Flotte in Deutschland verwendet. Der Einbau der Hardware in private Autos ist mit Aufwand und zusätzlichen Kosten verbunden.
- Die Stärkung von multimodalen Verhalten durch Carsharing-Anbieter wie Drivy kann langfristig den Übergang zu einem (privat-)autofreien Regime erleichtern, zum Beispiel perspektivisch mit Blick auf die Einführung autofreier Stadtprojekte.

Das Transformative Potential ist durch folgende Barrieren begrenzt:

- Die Nutzung von Drivy kann zu finanziellen Einsparungen führen: Vermietende erhalten einen Zusatzverdienst, Mietende haben eine kostengünstige Alternative im Vergleich zum Autobesitz beziehungsweise im Vergleich zu klassischen Mietwagen oder Taxifahrten. Durch die so gewonnene größere Kaufkraft kann es zu Rebound-Effekten im Verkehrssektor kommen, zum Beispiel wenn das gesparte Geld in Flugreisen investiert wird – und dadurch deutlich mehr Treibhausgasemissionen verursacht, als durch die Reduzierung von Autofahrten eingespart werden. Vor dem Hintergrund von Klimaschutzzielen sollten daher Bemühungen für eine Optimierung des Mobilitätssystems das gesamte System mit allen Verkehrsträgern umfassen (Sauter-Servaes 2017; mündlich).
- Bislang gibt es keine Kooperation zwischen dem Privatunternehmen Drivy und öffentlichen Akteuren. Damit der ÖPV und privates Carsharing sich zukünftig optimal ergänzen können, braucht es solche Kooperation.

5 Fazit

Die Fallstudie zum Vermittlungsdienst für privates Carsharing Drivy bietet einen Einblick in den Entwicklungspfad einer innovativen Infrastrukturkopplung im Verkehrssektor. Dabei weist sie einige Besonderheiten im Vergleich zu den anderen in TRAFIS AP2 betrachteten Fallstudien auf:

- Drivy wurde ausschließlich von Marktakteuren vorangetrieben, ohne jegliche Unterstützung von Seiten der Politik;
- die Idee wurde in Frankreich entwickelt und umgesetzt, dann auf Deutschland übertragen;
- der Entwicklungspfad wurde in Bezug auf ganz Deutschland betrachtet.

Die Entwicklungsmomente umfassen neben der Planung und Umsetzung die Erweiterung und Hochskalierung des Vermittlungsdienstes sowie die Einführung einer neuen, innovativen

Technologie. Hierdurch können umfassende Aussagen zu sowohl verschiedenen Einflussfaktoren und Prozessen als auch zu dem Beitrag des Vermittlungsdienstes an einer Nachhaltigkeitstransformation getroffen werden. Drivy bildete eine Nische innerhalb des vorherrschenden Regimes eines monomodalen Mobilitätsverhaltens, bei welchem das Privatauto als zentrales Fortbewegungsmittel genutzt wird. Drivy's wichtigstes Nachhaltigkeitspotential besteht darin, dass es Veränderungen im Mobilitätsverhalten seiner Nutzer und Nutzerinnen anregt beziehungsweise unterstützt und stärkt – hin zu einem multimodalen Mobilitätsverhalten, in dem privates Carsharing einen Baustein neben ÖPV, Fahrrad, gewerblichen Carsharing und anderen Alternativen darstellt. Durch diese Verhaltensänderung kann Drivy einen Beitrag leisten zu einer Transformation hin zu einer nachhaltigeren Personenmobilität in Deutschland. Drivy kann daher vor allem als eine soziale Innovation betrachtet werden. – sie wurde vor allem durch die Verankerung in den institutionellen Strukturen (Niederlassung in Berlin, Entwicklung eines speziellen Versicherungspakets und Gewinnung der Allianz als Partner) und dem Aufbau eines großen Nutzerkreises umgesetzt (durch Marketingmaßnahmen, städteweises Vorgehen, Zusammenführung mit Autonetzer). Allerdings beinhaltet die Innovation auch technische Aspekte, vor allem mit der Einführung der Drivy Open Technologie, die das Anmieten privater Fahrzeuge erheblich vereinfacht und dadurch sowohl für Vermietende als auch Mietende attraktiver macht. Mit Blick auf das gesamte Mobilitätssystem ist zu berücksichtigen, dass privates Carsharing allein nur einen geringen Nachhaltigkeitsbeitrag leisten kann – aber als Teil eines nachhaltigen Gesamtmobilitätsangebotes relevant ist.
Aktuell wird die transformative Wirkung sowie die Nachhaltigkeitsbeiträge der Infrastrukturkopplung als sehr gering eingeschätzt, da Drivy weiterhin eine Nische in Deutschland darstellt. Die Wirkungen entfalten sich vor allem in den deutschen Städten, in denen Drivy gut etabliert ist und über große Autoflotten verfügt (zum Beispiel in Berlin, Hamburg, München, Köln).
Der Entwicklungspfad Drivy's wurde von verschiedenen Einflussfaktoren und dem Umgang mit diesen durch Akteure geprägt. Zu Beginn haben vor allem sozio-kulturelle und Metafaktoren die Innovation unterstützt, indem sie eine Nachfrage nach alternativen Mobilitätsoptionen generiert haben – zum Beispiel durch das gesellschaftliche Interesse an der „Sharing Economy", ein verändertes Mobilitätsverhalten mit weniger Fokus auf das Privatauto, sowie ein steigendes Bewusstsein für Umweltproblematiken. Zudem spielten lokale-institutionelle Faktoren eine zentrale Rolle im Entwicklungspfad Drivys. Insbesondere die wiederholten Investitionen der Risikokapitalgeber sorgten dafür, dass finanzielle Mittel für die Umsetzung und Hochskalierung der Infrastrukturkopplung verfügbar waren. Das Unternehmen Drivy nutzte diese Gelder gezielt für wichtige Entwicklungsschritte, wie den Markteinstieg in Deutschland, die Übernahme des damaligen größten Konkurrenten auf dem deutschen Markt oder die Einführung einer Technologie zum Öffnen der Autotüren per Smartphone. Auch die hohen Kosten für den Besitz eines PKWs beeinflussten den Entwicklungspfad, indem sie Druck auf das bestehende Regime ausübten und so die Nischenbildung ermöglichten. Die wichtigste technische Entwicklung auf der lokalen Angebotsseite war die Verfügbarkeit der Technologie zum Öffnen der Autotüren per Smartphone – welche Drivy für das private Carsharing anpasste.

Der zentrale Akteur für die Entwicklung der Infrastrukturkopplung ist das Unternehmen Drivy, welches die Leitidee entwickelte und umgesetzte sowie die Expansion der Innovation auf ganz Deutschland vorantrieb. Bei Drivy handelt es sich um einen Marktplatz, der für Nutzerinnen und Nutzer erst dann attraktiv ist, wenn eine ausreichend große Anzahl an Fahrzeugen beziehungsweise angemeldetenn Miterinnen und Mietern in einer bestimmten Stadt oder Region zur Verfügung stehen (Netzwerkeffekt). Daraus ergibt sich ein hoher Wachstumsdruck für Drivy (Peuckert, Bätzing, Fünning, Gossen, & Scholl, 2017), welcher sich im gesamten Entwicklungspfad widerspiegelt. Zudem ist die Entwicklung der Infrastrukturkopplung geprägt durch die ständige Modernisierung in Form von Aktualisierungen und Anpassungen der Software, die mit Vereinfachungen des Ausleihprozesses für die Nutzerinnen und Nutzer einherging und bis heute andauert. Nennenswert ist auch die funktionierende Arbeitsteilung und Koordination zwischen der Drivy Niederlassung in Berlin und der Unternehmenszentrale in Frankreich, wobei letztgenannte insbesondere auch Erfahrungen aus dem länger etablierten Vermittlungsdienst in Frankreich einbringen konnte. Als weitere relevante Akteure sind die Risikokapitalgeber zu nennen, welche Drivy nicht nur mit finanziellen Mitteln, sondern mutmaßlich auch bei strategischen Entscheidungen unterstützt haben. Durch die Kooperation zwischen Drivy und dem Versicherungspartner Allianz konnte ein Versicherungsschutz für privates Carsharing in Deutschland entwickelt und so die notwendige Voraussetzung für die Umsetzung der Infrastrukturkopplung geschaffen werden.
Drivy konnte sich innerhalb kurzer Zeit (Ende 2014 bis 2017) in zahlreichen Städten etablieren und bedient heute einen großen Teil der Nachfrage nach privaten Carsharing in Deutschland. Auf nationaler Ebene ist es schwierig, Aussagen über Nachhaltigkeitsbeiträge zu machen, da zum einen privates Carsharing nicht in Verkehrsstatistiken erfasst wird und zum anderen mit Verhaltensänderungen schwierig zu erfassen sind – auch mit Blick auf potenzielle Reboundeffekte. Würde man den geographischen Bezugsrahmen auf einzelne Städte (zum Beispiel Berlin) setzen, könnten die Nachhaltigkeitswirkungen des Vermittlungsdienstes potenziell deutlicher ausfallen. Der heutige Stand der Infrastrukturkopplung ist von einem weiteren Wachstumsbestreben geprägt. Dabei lässt sich Drivy in Deutschland verschiedene Optionen für seine Zukunft offen – einschließlich Kooperationsmöglichkeiten mit Automobilherstellern. Für letztere wird privates Carsharing zunehmend als neues Geschäftsfeld interessant. Dies könnte die Ausschöpfung des Nachhaltigkeitspotenzials der Infrastrukturkopplung gefährden: wirtschaftliche Interessen der Automobilbranche könnten die bisherige Ausrichtung Drivy's auf die Sharing Economy und Nutzerfreundlichkeit verdrängen; gänzlich neue Geschäftsmodelle könnten entstehen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Unterstützung von privaten Carsharing-Modellen von Seiten der Politik sinnvoll, um die Ausrichtung dieser Infrastrukturkopplung auf Verhaltensänderungen in Richtung nachhaltige Mobilität und sozial-freundlicher Ökonomie des Teilens zu stärken und zu gewährleisten. Konkrete Beispiele für eine solche Unterstützung umfassen

- Bemühungen, privates Carsharing im Rahmen des Carsharing-Gesetzes förderbar zu machen (zum Beispiel durch Adressieren von Mitnahmeeffekten);
- Kooperationsmodelle zwischen privaten und gewerblichen Carsharing und dem öffentlichen Nahverkehr auf Städte- beziehungsweise kommunaler Ebene;

- Unterstützung von privaten Carsharing in ländlichen Regionen durch MarketingHandlungen (zum Beispiel Informationskampagne).

6 Quellenverzeichnis

Bay, B. (2016, März 25). Privates Carsharing: Ein Ausflug mit dem Auto des Nachbarn. Abgerufen von http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/privates-carsharing-ein-ausflug-mit-dem-auto-des-nachbarn/13365586.html

Bay, L. (2015, Mai 28). Drivy-Gründer Dementhon im Interview: „Unsere Kundenzahl wird sich verzehnfachen". Abgerufen von http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/drivy-gruender-dementhon-im-interview-unsere-kundenzahl-wird-sich-verzehnfachen/11836020.html

Bay, L. (2016). Carsharing und Ridesharing in Deutschland: Sie werden so schnell groß. Abgerufen von http://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/carsharing-und-ridesharing-in-deutschland-sie-werden-so-schnell-gross/13368794.html

BCS - Bundesverband Carsharing. (2017, Februar 21). Pressemitteilung: Mehr als 1,7 Millionen CarSharing-Nutzer in Deutschland. Abgerufen 23. Mai 2017, von http://carsharing.de/sites/default/files/uploads/pm_carsharing-bilanz_2017.pdf

Berliner Zeitung. (2017, Februar 21). Car2go, DriveNow & Co.: Carsharing schadet der Umwelt. Berliner Zeitung. Abgerufen von http://www.berliner-zeitung.de/berlin/verkehr/car2go--drivenow---co--carsharing-schadet-der-umwelt-25775132

BMUB - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, & UBA - Umweltbundesamt. (2015). Umweltbewusstsein in Deutschland 2014. Abgerufen 19. Mai 2017, von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umweltbewusstsein_in_deutschland_2014.pdf

Brockmeyer, F., & Weigele, S. (2014). Urbane Mobilität im Umbruch? Verkehrliche und ökonomische Bedeutung des Free-Floating-Carsharing. Civity.

Bröse, I. (2016). Peer-to-Peer-Geschäftsmodelle. Charakteristiken und Herausforderungen (IZT-Text 3-2016). Berlin: IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Abgerufen von https://buch-findr.de/buecher/peer-to-peer-geschaeftsmodelle/

Carsharing News. (2015, Juli 31). Drivy verfünffacht Anmietungen. Abgerufen 22. Mai 2017, von http://www.carsharing-news.de/drivy-verfuenffacht-anmietungen/

Carsharing-Blog. (2016, Mai 6). Neue Finanzierungsrunde bei Drivy. Abgerufen 24. Mai 2017, von https://www.carsharing-blog.de/2016/05/neue-finanzierungsrunde-bei-drivy/

Die Welt. (2013). Privates Carsharing: Smartphone statt Autoschlüssel. Abgerufen 23. März 2017, von https://www.welt.de/motor/news/article119768930/Privates-Carsharing.html

Drivy. (ohne Jahr). Versicherung und Mobilitätsschutz. Abgerufen 22. März 2017, von https://www.drivy.de/insurance

Drivy. (2017). Miete Autos von nebenan. Günstiger, näher und praktischer. Abgerufen 9. März 2017, von https://www.drivy.de/?force_country=true

Drivy Blog. (2014, November 24). Von Privat an Privat: Frankreichs Erfolgsautovermietung kommt nach Deutschland. Pressemitteilung. Abgerufen 20. März 2017, von https://blog.drivy.de/2014/11/24/von-privat-an-privat-frankreichs-erfolgsautovermietung-kommt-nach-deutschland/

Drivy Blog. (2015a, Januar 20). Drivy erobert die Hansestadt! Abgerufen 29. März 2017, von https://blog.drivy.de/2015/01/20/drivy-erobert-die-hansestadt-hamburg-20-januar-2015/

Drivy Blog. (2015b, Februar 24). Drivy ist in München angekommen! Abgerufen 29. März 2017, von https://blog.drivy.de/2015/02/24/drivy-ist-in-munchen-angekommen/

Drivy Blog. (2015c, April 28). Privates Carsharing mit Drivy jetzt deutschlandweit. Pressemitteilung. Abgerufen 20. März 2017, von https://blog.drivy.de/2015/04/28/privates-carsharing-mit-drivy-jetzt-deutschlandweit/

Drivy Blog. (2016a, Januar 7). Der mobile Mietvertrag jetzt für Android. Abgerufen 27. März 2017, von https://blog.drivy.de/2016/01/07/der-mobile-mietvertrag-jetzt-fuer-android/

Drivy Blog. (2016b, März 22). Autos per Smartphone öffnen – ab sofort ganz einfach mit Drivy Open! Abgerufen 22. März 2017, von https://blog.drivy.de/2016/03/22/autos-per-smartphone-oeffnen-ab-sofort-ganz-einfach-mit-drivy-open/

Drivy Blog. (2016c, Juni 9). Drivy kommt groß raus. Abgerufen 13. Juni 2017, von https://blog.drivy.de/2016/06/09/drivy-wird-zum-fernsehstar/

Drivy Blog. (2016d, Oktober 20). Drivy Open startet in Hamburg und München. Abgerufen 9. März 2017, von https://blog.drivy.de/2016/10/20/drivy-open-startet-hamburg-muenchen/

Duong, T. C., Foljanty, L., Kudella, C., Runge, D., Ruoff, P., Gossen, M., & Scholl, G. (2016). Mobilität der Zukunft. Personenmobilität. Ergebnisbericht Projekt „ShareWay – Wege zur Weiterentwicklung von Shared Mobility zur dritten Generation“. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Abgerufen von https://www.ioew.de/publikation/mobilitaet_der_zukunft/

GetMobility. (2015, April 2). Drivy Carsharing sammelt 8 Mio. € ein. Abgerufen 24. Mai 2017, von http://getmobility.de/20150402-drivy-carsharing-finanzierung/

Gossen, M., Henseling, C., Bätzing, M., & Flick, C. (2016). Peer-to-Peer Sharing: Einschätzungen und Erfahrungen. Ergebnisse einer qualitativen Befragung (PeerSharing Arbeitsbericht No. 3). Berlin. Abgerufen von http://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/Dateien/PeerSharing_Ergebnispapier_AP4_Vorstudie_final_neu.pdf

Habi, R. (2015). Private Autovermietung: Die günstige Carsharing-Alternative kommt. Abgerufen 16. März 2017, von http://www.wiwo.de/technologie/green/tech/private-autovermietung-die-guenstige-carsharing-alternative-kommt/13551986.html

Handelsblatt. (2012). Digitale Autoschlüssel: Aufschließen und starten mit dem Smartphone. Abgerufen 23. März 2017, von http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/digitale-autoschluessel-aufschliessen-und-starten-mit-dem-smartphone/7136086.html

Harder, S. (2014). Carsharing-Gerichtsurteil: Wer teilt, gewinnt. Abgerufen 1. Juni 2017, von http://www.spiegel.de/auto/aktuell/carsharing-klage-gegen-plattform-autonetzer-de-abgewiesen-a-990781.html

Heuzeroth, T. (2017, Januar 3). Der erbitterte Streit um kostenlose Parkplätze. DIE WELT. Abgerufen von https://www.welt.de/wirtschaft/article160827152/Der-erbitterte-Streit-um-kostenlose-Parkplaetze.html

Hölscher, K., Wittmayer, J., Brunnow, B.; Hinzmann, M., Hirschnitz-Garbers, M.; Langsdorf, S.; Olfert, A.; Schiller, G.; Walther, J (2019): Von Infrastrukturkopplungsprojekten lernen: Entwicklungspfade, Einflussfaktoren, Handlungsmöglichkeiten und Beitrag zu Nachhaltigkeitstransformationen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Institut für Mobilitätsforschung - IFMO. (2011). Mobilität junger Menschen im Wandel - multimodaler und weiblicher (imfo-Studien). München. Abgerufen von http://www.ifmo.de/tl_files/publications_content/2011/ifmo_2011_Mobilitaet_junger_Menschen_de.pdf

Joseph-Dezaize, G. (2013, Mai 24). Grâce à lui, votre voiture vous rapporte. Abgerufen 10. März 2017, von http://www.capital.fr/enquetes/hommes-et-affaires/grace-a-lui-votre-voiture-vous-rapporte-845597

Knoblach, J. (2017, Juli 1). Privates Carsharing: Airbnb für die Straße. Berliner Zeitung. Abgerufen von http://www.berliner-zeitung.de/berlin/privates-carsharing-airbnb-fuer-die-strasse-25492810

Kraftfahrt-Bundesamt. (2016). Bestand. Abgerufen 8. März 2017, von http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html

Le Vine, S., Zolfaghari, A., & Polak, J. (2014). Carsharing: Evolution, Challenges and Opportunities. Centre for Transport Studies, Imperial College London. Abgerufen von https://www.acea.be/uploads/publications/SAG_Report_-_Car_Sharing.pdf

Loose, W. (2016). Mehr Platz zumLeben - wie CarSharing Städte entlastet. Ergebnisse des bcs-Projektes „CarSharing im innerstädtischen Raum - eine Wirkungsanalyse“. Endbericht. Berlin: Bundesverband CarSharing. Abgerufen von http://bcs2015.bessere-ideen.de/sites/default/files/uploads/alles_ueber_carsharing/pdf/endbericht_bcs-eigenprojekt_final.pdf

Much, M. (2016). Das Airbnb für Autos. Abgerufen 17. März 2017, von https://www.allianzdeutschland.de/das-airbnb-fuer-autos/id_79691518/index

Peuckert, J., Bätzing, M., Fünning, H., Gossen, M., & Scholl, G. (2017). Kontexte des Teilens: Herausforderungen bei der gesellschaftlichen Verankerung von Peer-to-Peer Sharing am Beispiel von Übernachten und Autoteilen. PeerSharing Arbeitspapier 4. Berlin. Abgerufen von http://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/PeerSharing_Arbeitspapier4_Kontexte_des_Teilens.pdf

Reidel, M. (2017, März 31). Drivy: Das Airbnb für Autos fährt erstmals im TV vor. Abgerufen 25. April 2017, von http://www.horizont.net/marketing/nachrichten/Drivy-Das-Airbnb-fuer-Autos-faehrt-erstmals-im-TV-vor-156979

Rest, J. (2016). Privates Carsharing ohne Schlüssel - Drivy startet neuen Dienst in Berlin. Abgerufen 23. März 2017, von http://www.berliner-zeitung.de/berlin/privates-carsharing-ohne-schluessel---drivy-startet-neuen-dienst-in-berlin-23765178

Riegler, S., Juschten, M., Hössinger, R., Gerike, R., Rößger, L., Schlag, B., … Kopp, J. (2016). Carsharing 2025 - Nische oder Mainstream? Institut für Mobilitätsforschung. Abgerufen von http://www.ifmo.de/tl_files/publications_content/2016/ifmo_2016_Carsharing_2025_de.pdf

Schiller, G., Olfert, A., Langsdorf, S., Hirschnitz-Garbers, M., Hölscher, K., Wittmayer, J.M. und Walther, J. (2016): TRAFIS 1. Zwischenbericht Oktober 2016. Internes Dokument.

Schmidt, A. (2014). Werden Carsharing-Anbieter im Wachstum von der Politik gehemmt? Abgerufen 3. Mai 2017, von http://www.huffingtonpost.de/artur-schmidt/carsharing-erfolg_b_5059585.html

Scholl, G., Behrendt, S., Flick, C., Gossen, M., Henseling, C., & Richter, L. (2015). Peer-to-Peer Sharing: Definition und Bestandsaufnahme (PeerSharing Arbeitsbericht No. 1). Berlin. Abgerufen von http://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/Dateien/PeerSharing_Ergebnispapier.pdf

Schwarz, T. (2014, Dezember 4). Drivy founder Paulin Dementhon: „Berlin is quite unique worldwide“. Abgerufen 7. März 2017, von http://isarmatrose.com/?p=4126

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. (2014). Berliner Verkehr in Zahlen 2013 (Mobilität der Stadt). Berlin. Abgerufen von http://www.stadtentwicklung.berlin.de/verkehr/politik_planung/zahlen_fakten/download/Mobilitaet_dt_komplett.pdf

Statistisches Bundesamt. (2013). Verkehr auf einen Blick. Wiesbaden. Abgerufen von https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/BroschuereVerkehrBlick0080006139004.pdf?__blob=publicationFile

Sutter et al. (2017). Shared Mobility. Kollaborative Mobilitätsservices europäischer Städte im Vergleich. Winterthur: ZHAW School of Engineering.

Thiele, A. (2015, Februar 2). Privates Carsharing in Hamburg. Abgerufen 21. März 2017, von http://www.abendblatt.de/wirtschaft/article137015370/Privates-Carsharing-in-Hamburg.html

Vogelpohl, T., & Simons, A. (2015). Kontroversen ums Teilen. Ein Überblick über das online gestützte Peer-to-Peer Sharung als gesellschaftliche Innovation und eingehende allgemeine und spezifische Kontroversen - PeerSharing_Arbeitsbericht_2.pdf (PeerSharing Arbeitsbericht No. 2). Berlin. Abgerufen von http://www.peer-sharing.de/data/peersharing/user_upload/Dateien/PeerSharing_Arbeitsbericht_2.pdf

Wiesmüller, M., & Plöger, S. (2016). Auto per App: Drivy Open startet in Hamburg und München. Abgerufen 23. März 2017, von http://www.computerbild.de/artikel/cb-News-Connected-Car-Carsharing-Drivy-Open-Berlin-Hamburg-Muenchen-15249247.html

Wilke, S. (2015, Juni 16). Marktdaten: Bereich Mobilität [Text]. Abgerufen 8. März 2017, von http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/gruene-produkte-marktzahlen/marktdaten-bereich-mobilitaet

Wirminghaus, N. (2014). Drivy und Rentecarlo kommen nach Deutschland. Abgerufen 16. März 2017, von http://www.gruenderszene.de/allgemein/drivy-rentecarlo-carsharing

11. Anhang

Anhang 1: Methodisches Vorgehen

Anhang 1.1: Interviewleitfaden

Ziel des Interviews und Auswahl der Interviewpartner

Pro Fallbeispiel werden zwei qualitative, leitfaden-basierte telefonische Interviews durchgeführt. Die Interviews dienen dazu tiefgreifende Einblicke in die Entwicklungspfade der Infrastrukturkopplung und deren Einfluss auf eine Transformation zu gewinnen. Ein wesentlicher Fokus liegt auf der Identifizierung und Beschreibung der Entwicklungsmomente einer Infrastrukturkopplung. Sie werden auf Basis einer vorhergehenden Literaturanalyse zum Fallbeispiel, einem Entwurf des Entwicklungspfades, der Analyse des Nachhaltigkeitsbeitrages und einer Identifizierung von Wissenslücken durchgeführt.

Interviewdesign

- Die Interviews sind auf 60-90 Minuten angesetzt.
- Ein semi-strukturierter Interviewleitfaden beinhaltet Fragestellungen um das Interview zu leiten. Der Interviewleitfaden verbindet die Verwendung offener Fragen zur Erhebung relevanter und kontextspezifischer Details mit einer eng am Analyserahmen orientierten Struktur. Letzteres gewährleistet die Vergleichbarkeit über die Fallstudien hinweg.
- Die Fragen des Interviewleitfadens werden angepasst an die jeweilige Infrastrukturkopplung. Sie werden während des Interviews paraphrasiert um dem natürlichen Gesprächsverlauf angepasst zu werden.
- Die Anpassung des Interviewleitfadens basiert auf der vorhergehenden Literaturanalyse, dem Entwurf des Entwicklungspfades, der Analyse des Nachhaltigkeitsbeitrages und weiterer identifizierten Wissenslücken.
- Das Interview wird unterstützt durch eine – basierend auf der Literaturanalyse – erstellten Tabelle zu den Entwicklungspfaden. Diese wird der Interviewpartnerin/dem Interviewpartner während des Interviews zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Tabelle kann diese/r auf die Entwicklungsmomente eingehen.
- Interviews werden nur nach Zustimmung aufgenommen und Interviewaufnahmen werden vertraulich behandelt.
- Die Interviews werden anschließend zusammengefasst unter Heraushebung von relevanten, direkten Zitaten. Sie werden anschließend durch die Interviewpartnerin/den Interviewpartner freigegeben.
- Vor dem Interview werden Wissenslücken und Beispiele von Entwicklungsmomenten identifiziert. Die Wissenslücken dienen dazu offene Fragen insbesondere zur Systemanalyse zu schließen. Die Bezeichnung wesentlicher Entwicklungsmomente dient dazu die Interviewpartnerin/den Interviewpartner ggf. zu unterstützen über Beispiele nachzudenken.

Leitfaden

Der Interviewleitfaden (Tabelle 20) orientiert sich an den im Analyserahmen genannten erwünschten Erkenntnisgewinnen. Der Fokus liegt auf Fragen zu den wesentlichen Entwicklungsmomenten, bedeutenden Einflussfaktoren, Entwicklungen und akteursbezogenen Prozessen sowie den Wirkungen der Infrastrukturkopplung.

Tabelle 20: Interviewleitfaden

Fragen	Erkenntnisinteresse
Vorstellung **Kurze Einleitung des Forschungsprojektes und des Interviewziels** **Überblick über die Struktur des Interviews** **Sicherstellung des Einverständnisses zur Aufnahme des Interviews und Erklärung zur Freigabe, Klärung wie auf das Interview in Veröffentlichungen verwiesen werden kann**	
(a) Fragen über die Infrastrukturkopplung **a.1 Was waren/sind die Hauptziele der Infrastrukturkopplung?** **a.2 Inwieweit war/ist die Infrastrukturkopplung innovativ?** **a.3 Inwieweit war/ist die Infrastrukturkopplung innerhalb breiterer gesellschaftlicher Nachhaltigkeitsentwicklungen positioniert?** **a.4 Wann und wie ist es zu der Infrastrukturkopplung und ihrer Umsetzung gekommen? Welche Ereignisse, Akteure/Initiatoren, Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche Gegebenheiten haben daran beigetragen?** **a.5 Wie steht es um die Infrastrukturkopplung heute?** **a.6 Wie war/ist die Struktur der Infrastrukturkopplung (zum Beispiel wie wurde es finanziert, wie wurden Entscheidungen getroffen und von wem)?**	Allgemeine Erkenntnisse über die Infrastrukturkopplung, ihre Ziele, Entwicklung und Auswirkung aus Sicht der Interviewpartnerin/des Interviewpartners. Erkenntnisse zur Beschreibung der Nische, Transformatives Potential
(b) Fragen zum Entwicklungspfad und den wesentlichen **Entwicklungsmomenten** **Dem Interviewpartner den Entwicklungspfad vorlegen:** **b.1. Sind durch diesen Entwicklungspfad alle wesentlichen Entwicklungsmomente der Infrastrukturkopplung abgedeckt?** **b.2 Was waren entscheidende Momente in der Entwicklung der Infrastrukturkopplung, die es in eine bestimmte Richtung beeinflusst haben? (zum Beispiel eine bestimmte Entscheidung oder Ereignis)** ***[möglichst zwei pro Interviewpartner abfragen]*** **b.3 (Definition) Aus was bestand der Entwicklungsmoment und wann (Datum oder Periode) fand er statt? Was macht ihn zu einem Entwicklungsmoment?** **b.4 (Entstehung) Welche bestimmten Ereignisse, Akteure, Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche**	Erkenntnisse zur Beschreibung der wesentlichen Entwicklungsmomente der Infrastrukturkopplung einschließlich bedeutender Einflussfaktoren und Entwicklungen sowie akteursbezogener Prozesse

Fragen	Erkenntnisinteresse
Gegebenheiten innerhalb der Nische, des Regimes oder der Landschaft ermöglichten den Entwicklungsmoment? b.5 (Kontroversen) Inwiefern beinhaltete der Entwicklungsmoment Kontroversen? Um welche Kontroversen handelte es sich und welche Akteure/Organisationen waren involviert? Wie (wenn überhaupt) wurde die Kontroverse beigelegt?	
(c) Fragen über die weiteren Wirkungen der Infrastrukturkopplung **c.1 Wie verhält sich die Infrastrukturkopplung zum existierenden Regime (im Interview spezifizieren, zum Beispiel auf das Wassermanagement in der Stadt)? Inwieweit hat es Veränderungen hervorgerufen, und wenn welche?** **Probing: Denken Sie an zum Beispiel existierende Technologien, Infrastrukturen und Routinen, institutionelle Rahmenbedingungen, Akteure**	Erkenntnisse über die transformative Wirkung der Infrastrukturkopplung und entstehende Transformationspfade
(d) Fragen über die Zukunft der Infrastrukturkopplung und der Innovation **d.1 Wie sehen Sie die Zukunft der Infrastrukturkopplung bezüglich dessen Verankerung im Regime? Halten Sie weitere Entwicklungen für interessant oder notwendig?** **d.2 Denken Sie die Neuerung/Kopplung könnte so oder ähnlich auch in anderen Kontexten umgesetzt werden? Beziehungsweise wurde dies bereits getan? Welche Möglichkeiten und Herausforderungen sehen Sie hierfür?**	Erkenntnisse über den gegenwärtigen Stand der Infrastrukturkopplung und deren Rolle in einer Transformation

Anhang 1.2: Analyserahmen zur Beschreibung und Analyse von Entwicklungspfaden innovativer Infrastrukturkopplungen

Tabelle 21: Analyserahmens zur Beschreibung und Analyse von Entwicklungspfaden innovativer Infrastrukturkopplungen

Analyseschritt		Analysefragen
Systemanalyse	Systemeingrenzung	• Was ist die für die Nischeninnovation relevante geographische Einheit? • Welche Sektoren sind (durch die Kopplung) erfasst? Welche funktionalen Ausrichtungen (Zielsetzungen) sind inbegriffen? • Wann wurde die Idee für die Infrastrukturkopplung formuliert? • Wie verhält sich die Systemeingrenzung zu einer breiteren gesellschaftlichen Transformation?
	Beschreibung der Systembestandteile	**Nische** • Was war/ist die (explizite und/oder implizite) Leitidee der Infrastrukturkopplung? Wie (und wo) wurde/wird diese konkret umgesetzt? • Was macht diese Infrastrukturkopplung zu einer Nischeninnovation? Worin besteht die Innovation der Infrastrukturkopplung in Hinblick auf das bestehende Regime?

Analyseschritt		Analysefragen
		• Hat die Infrastrukturkopplung das Ziel oder die Absicht an einer Transformation beizutragen (implizit oder explizit)? • Aus welchem Kontext und von welchen Akteuren ging die Innovation hervor, wurde konkret umgesetzt oder unterstützt? • Was waren/sind weitere relevante Nischeninnovationen innerhalb des Systems, die Bezug zur Infrastrukturkopplung haben? **Regime** • Was waren/sind relevante dominante physische Aspekte des Systems, zum Beispiel angewandte Technologien, bestehende Infrastrukturen und andere materielle Gegebenheiten? • Was waren/sind relevante Strukturen der Industrie, des Marktes, der Politik und der Gesellschaft (zum Beispiel Regulierungen, Institutionen, Organisationsformen)? • Was waren/sind relevante dominante sozial-kulturelle Merkmale des Systems, zum Beispiel Wissensbasis, Normen, Werte, Diskurse und gesellschaftliche (Macht-)Verhältnisse? • Was waren/sind relevante Praktiken, zum Beispiel Routinen, tägliche Handlungen? **Landschaft** • Was waren/sind die für die Nischeninnovation relevanten Akteure, Phänomenen, Diskurse, Trends und Entwicklungen im weiteren Kontext außerhalb des betrachteten Systems? • Was waren/sind relevante Rahmenbedingungen auf Ebenen der politischen Entscheidungsfindung, die außerhalb des betrachteten Systems fallen? • Welche der Infrastrukturkopplung vergleichbaren Nischen gab/gibt es außerhalb des/in anderen Systemen?
Beschreibung des Entwicklungs-pfads	Identifizierung der Entwicklungsmomente	• Was waren konkrete Momente beziehungsweise Schritte in der Entwicklung der Infrastrukturkopplung (zum Beispiel Installation physischer Strukturen, Inbetriebnahme, Modernisierung)? • Was waren entscheidende Momente in der Entwicklung der Infrastrukturkopplung, die es in eine bestimmte Richtung beeinflusst haben? (zum Beispiel eine bestimmte Entscheidung oder Ereignis)
	Beschreibung der Entwicklungsmomente	• Definition: Aus was besteht dieser Entwicklungsmoment und wann (Datum oder Periode) fand er statt? Was macht ihn zu einem Entwicklungsmoment? Welche Veränderungen fanden statt? • Entstehung: Welche bestimmten Ereignisse, Akteure, Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche Gegebenheiten ermöglichten den Entwicklungsmoment? (akteursbezogene Handlungen und systemische Einflussfaktoren) • Herausforderungen: Inwiefern beinhaltete der Entwicklungsmoment Herausforderungen? Um welche Herausforderungen handelte es sich und welche Akteure/Organisationen waren involviert? Wie (wenn überhaupt) wurde die Herausforderung beigelegt?
Analyse der Veränderungsdynamiken	Einflussfaktoren und Wirkungen	• Welche Einflussfaktoren kamen im Laufe des Entwicklungsmomentes zum Tragen? • Was war die Wirkung der Einflussfaktoren (unterstützend und/oder hemmend)? Wodurch war diese Wirkung gekennzeichnet?
	Akteure und Handlungen	**Akteure**

Analyseschritt		Analysefragen
		• Wer sind/waren relevante Akteure? • Was sind/waren deren Rollen im Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung /wie beeinflussen sie den Entwicklungspfad und wie verhalten sich diese zueinander? **Transformative Handlungen** • Welche Handlungen dienen der Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung? Welche Akteure sind an diesen Handlungen beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Handlungen dienen der Anbindung der Innovation an den Kontext? Welche Akteure sind an diesen Handlungen beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Handlungen dienen der Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation? Welche Akteure sind an diesen Handlungen beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? **Orchestrierungs-Handlungen** • Welche Handlungen dienen der strategischen Richtungssetzung? Welche Akteure sind an diesen Handlungen beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Handlungen dienen der skalen- und ressortübergreifenden Mediation? Welche Akteure sind an diesen Handlungen beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Handlungen dienen dem Setzen von Rahmenbedingungen? Welche Akteure sind an diesen Handlungen beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?
Analyse des Beitrages zu einer Nachhaltigkeitstransformation	Nachhaltigkeitsbeitrag	• Wie ist der erzielte Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturkopplung hinsichtlich der Kriterien aus TRAFIS AP 1 entlang der vier Teile zu beurteilen: (1) Leistungsfähigkeit der Kopplung (auch in Bezug auf die expliziten und impliziten Zielsetzungen der Akteure), (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourcenschonung und -effizienz, (4) Versorgungssicherheit im Kontext wetterbedingter Störungen? • Durch welche Einflussfaktoren wurde der erzielte Nachhaltigkeitsbeitrag geprägt?
	Transformatives Potential und/oder Transformative Wirkung	• Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Handlungen der Infrastrukturkopplung wird das Regime in Frage gestellt, das heißt die Legitimität oder Existenz dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken? • Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Handlungen der Infrastrukturkopplung kann beziehungsweise wurde das Regime verändert, das heißt Teile der dominanten Strukturen, Kulturen und Praktiken? • Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Handlungen der Infrastrukturkopplung kann beziehungsweise wurde das Regime ersetzt, das heißt (einen) Teil(e) dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken? • Inwieweit und wodurch ist das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Infrastrukturkopplung begrenzt beziehungsweise konnte ihr Potential (noch) nicht weiter umgesetzt werden?

Anhang 2: Interviewpartnerinnen und -partner pro Fallstudie

Anhang 2.1: Interviewpartnerinnen und -partner Abwasserwärmeanlage in Waiblingen

Tabelle 22: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Abwasserwärmeanlage in Waiblingen

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Ernst A. Müller	Geschäftsführer InfraWatt Energie in Infrastrukturanlagen	Keine direkte Beteiligung im Projekt; Initialisierungsrolle zur Umsetzung von Abwasserwärmekopplungen in der Schweiz und Baden-Württemberg	30.11.2016	Telefonisch	Ja
Rolf Bartel	Leiter des Bereichs Wärme- und Energieerzeugung der Stadtwerke, Stadtwerke Waiblingen	Keine direkte Beteiligung in der ersten Projektumsetzung 1983, aber seit der Modernisierung 2002-2004 beteiligt	6.12.2016	Telefonisch	Ja

Anhang 2.2: Interviewpartnerinnen und -partner Abwasserwärmeanlage in Köln

Tabelle 23: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Abwasserwärmeanlage in Köln

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Herr Tillmann	RheinEnergie AG, Projektleitung Smart Energy	Initiieren und Managen des Projektes Betrieb der Demonstrationsanlagen Angebot der Abwasserwärmenutzung für KundInnen	17.2.2017	Telefonisch	Ja

Anhang 2.3: Interviewpartnerinnen und -partner Serverabwärmeanlage in Hamm

Tabelle 24: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Serverabwärmeanlage in Hamm

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Antonius Mertin	Einkauf/Vertrieb	Organisatorische Abwicklung des Baus	9.6.2017	telefonisch (Doppelinterview)	ja
Andreas Wilmer	Bauleitung	Technische Abwicklung des Baus	9.6.2017	telefonisch (Doppelinterview)	ja

Anhang 2.4: Interviewpartnerinnen und -partner Rosensteinviertel in Stuttgart

Tabelle 25: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und –partner Rosensteinviertel in Stuttgart

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?

Christoph Welz	Siedlungswerk	Projektleiter	15.03.2017	Telefonisch	Ja
Wolfgang Fischer	e-mobil BW	Projektkoordination LivingLab e-mobil	20.04.2017	Telefonisch	Ja

Anhang 2.5: Interviewpartnerinnen und -partner Solardorf in Norderstedt

Tabelle 26: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Solardorf Norderstedt

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Tobias Schilling	Schilling Immobilien	Entwickler „goodnest Solardorf"; Investor; Gebietsentwickler; Projektleitung	15.03.2017	Telefonisch	Ja
Jonas Röntgen	-	Bauherr/Anwohner	17.03.2017	Telefonisch	Ja
Martin Koops	-	Bauherr/Anwohner	17.03.2017 (zusammen mit Herrn Röntgen 2017b, mündlich)	Telefonisch (zusammen mit Herrn Röntgen 2017b, mündlich)	Ja

Anhang 2.6: Interviewpartnerinnen und -partner Multi-Energie-Tankstelle H2BER

Tabelle 27: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Multi-Energie-Tankstelle H2BER

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Fabian Grüger	Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Mobilität mit Erneuerbaren Energien, Reiner Lemoine Institut gGmbH	Projektleiter, von H2BER2 – Entwicklung und Erprobung von Betriebsstrategien für die H2-Tankstelle am Flughafen BER	10.05.17	Telefonisch	Nein
Matthieu Brouté	V.I.E. Wasserstoff Tankstellen, TOTAL	Mitverantwortlicher für das Projekt (später dazu gekommen)	06.06.17	Telefonisch (einige Fragen via Mai)	Nein
Tristan Kretschmer	Vetriebsmanager, McPhy	Mitverantwortlicher für das Projekt	08.06.17	Telefonisch	Nein
Stefan Liesner	Head of Marketing, 2G	Mitverantwortlicher für das Projekt	12.06.17	Telefonisch (einige Fragen via Mai)	Nein
Markus Gehring	Projektleiter, 2G	Unternehmenskommunikation	29.06.17	Telefonisch (einige Fragen via Mai)	Nein

Anhang 2.7: Interviewpartnerinnen und -partner Hybridkraftwerk Prenzlau

Tabelle 28: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Hybridkraftwerk Prenzlau

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Robert Döring	Leiter Energiepolitik & Pressesprecher	Keine direkte Beteiligung im Projekt	03.04.2017	Telefonisch	Ja

Anhang 2.8: Interviewpartnerinnen und -partner VPS Allgäu

Tabelle 29: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner VPS Allgäu

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Simone Herz	AÜW	Schrieb Masterarbeit bei AÜW über das Projekt	09.05.2017	Telefonisch	Ja
Patrick Ansbacher	B.A.U.M.	Projektleiter	10.05.2017	Telefonisch	Ja

Anhang 2.9: Interviewpartnerinnen und -partner Carsharing-App Drivy

Tabelle 30: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner Carsharing-App Drivy

Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
Andreas Nelskamp	Gründer und Managing Director von ViaMaxi Mobility Consulting & Execution Management	Keine direkte Beteiligung im Projekt; Einblicke aus der Unternehmensperspektive; Erfahrungen mit Unternehmensgründungen im Bereich Kopplung von IKT & Verkehr	03.05.2017	Telefonisch	Ja
Dr. Thomas Sauter-Servaes	Mobilitätsforscher und Leiter des Studiengangs Verkehrssysteme an der ZHAW School of Engineering in Zürich	Keine direkte Beteiligung im Projekt; Einblicke aus der Forschung zu innovativen, alternativen Mobilitätsoptionen	12.06.2017	Telefonisch	Ja


Buy or top up your
Oyster card here