

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3715 48 102 0

Entwicklungsfade und Einflussfaktoren nachhaltiger und klimaresilienter Infrastrukturkopplungen

von

Katharina Hölscher
DRIFT, Erasmus Universität Rotterdam, Rotterdam

Julia Wittmayer
DRIFT, Erasmus Universität Rotterdam, Rotterdam

Dutch Research Institute for Transitions (DRIFT)
Erasmus Universität Rotterdam
Mandeville Building, 16th floor
Burgmeester Oudlaan 50
3062 PA Rotterdam
Niederlande

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Februar 2017

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
Teil A: Analyserahmen: Beschreibung und Analyse von Entwicklungspfaden von Infrastrukturmöglichkeiten	5
A.1 Einleitung.....	5
A.2 Systemanalyse	5
A.2.1 Systemeingrenzung.....	6
A.2.2 Beschreibung der Systembestandteile	6
A.3 Beschreibung des Entwicklungspfads der Infrastrukturmöglichkeit	8
A.4 Analyse der Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad	9
A.4.1 Einflussfaktoren und Wirkungen	9
A.4.2 Akteure und Aktivitäten.....	10
A.5 Analyse des Beitrags des Entwicklungspfades der Nischeninnovation zu einer Nachhaltigkeitstransformation.....	12
A.6 Zusammenfassung Analyserahmen	13
A.7 Methodisches Vorgehen	16
A.7.1 Datenerhebung und -analyse	16
A.7.2 Interviewleitfaden	17
A.7.3 Methodische Reflektionen	19
A.8 Quellenverzeichnis.....	20
Teil B: Fallbeispiel: Wärmeerzeugung aus Abwasser in der Kläranlage Waiblingen.....	23
B.1 Einleitung.....	23
B.2 Der Entwicklungspfad der Infrastrukturmöglichkeit	25
B.2.1 Entwicklungsmoment #1: Die Geburt der Idee zur Abwasserwärmeverwendung (Anfang 1980er Jahre)	26
B.2.2 Entwicklungsmoment #2: Planung und Installation der Anlage (1983).....	28
B.2.3 Entwicklungsmoment #3: Inbetriebnahme und Netzanschluss (1983-1984)	30
B.2.4 Entwicklungsmoment #4: Modernisierung (2002-2004)	30
B.2.5 Entwicklungsmoment #5: Neue Kunden werden an das Netz angeschlossen (2006 und fortlaufend)	33
B.2.6 Entwicklungsmoment #6: Umrüstung der Abwasser-Filtertechnik.....	34
B.2.7 Heutiger Stand.....	35

B.3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad	36
B.3.1 Einflussfaktoren und Wirkungen auf den Entwicklungspfad	41
B.3.2 Akteure und Aktivitäten im Entwicklungspfad	42
B.4 Beitrag der Infrastrukturmöglichkeiten zu einer Nachhaltigkeitstransformation	46
B.4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturmöglichkeiten	46
B.4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastrukturmöglichkeiten	48
B.5 Fazit	49
B.6 Quellenverzeichnis	51
Anhang	53
Anhang B.1: Interviewpartnerinnen und -partner	53

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 aufgrund u.a. erforderlicher Erneuerungsmaßnahmen, tiefgreifender Nachhaltigkeitsproblematiken und Klimawandel eine Neugestaltung von Infrastrukturen an. Das TRAFIS-Projekt (Transformationen hin zu klimaresilienten und ressourcenschonenden Infrastrukturen) untersucht Entwicklungen hin zu gekoppelten Infrastrukturen, verstanden als Nischeninnovationen, welche das Potenzial haben zu gesellschaftlicher Nachhaltigkeit und Klimaresilienz beizutragen. Hierdurch sollen Ansatzpunkte und Handlungsoptionen für den Bund, kommunale und regionale Akteure identifiziert werden, diese Veränderungsprozesse voranzutreiben und zu gestalten.

Existierende Infrastrukturen – einschließlich ihrer physischen, organisatorischen und institutionellen Strukturen – bilden einen Teil eines Regimes, welches die in einem sozio-technischen System vorherrschende Art und Weise der Produktion, Verbreitung und Nutzung von Technologien, einschließlich unter anderem Nutzerverhalten, Leitprinzipien, Marktstrukturen, Politik und Regulierung beinhaltet (Loorbach et al. 2010). **Die Entwicklung von alternativen Infrastrukturen findet in Nischen statt und kann mittel- bis langfristig zu einer Transformation des sozio-technischen Systems führen.** Eine Systemtransformation wird als grundlegende Veränderung des dominanten Regimes, d.h. der vorherrschenden Strukturen (z.B. Infrastrukturen, Wirtschaftsformen, Institutionen), Kulturen (z.B. Wertevorstellungen) und Praktiken (z.B. Routinen, tägliche Prozesse) (Rotmans und Loorbach 2010) definiert. Infrastrukturveränderungen können beispielsweise zu neuen Marktstrukturen, Dienstleistungsnachfragen, sozialen Innovationen oder Interaktionsformen zwischen Interessengruppen (z.B. eine Überschneidung zwischen Nutzern und Dienstleistungsträgern) führen (Frantzeskaki und Loorbach 2010).

Eines der Ziele im TRAFIS-Projekt ist es, Entwicklungspfade von Beispielen von Infrastrukturmöglichkeiten nachzuzeichnen um 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, werden die Faktoren im Zusammenhang mit ihrer Wirkung auf den Entwicklungspfad und mit ihrem Umgang durch Aktivitäten von Akteuren beschrieben. Ein Entwicklungspfad beschreibt die Entwicklung der gekoppelten Infrastruktur als Nischeninnovation von der Idee bis zur heutigen Stand. Dies ermöglicht es zu erkennen, unter welchen Umständen die Faktoren Entwicklungen von gekoppelten Infrastrukturprojekten fördern oder hindern. Die identifizierten Faktoren können dann u.a. dazu dienen, involvierten und/oder politischen Akteuren potentielle Ansatzpunkte aufzuzeigen, mittels derer der Wandel aktiv unterstützt werden kann.

In diesem Working Paper stellen wir den Analyserahmen und das methodische Vorgehen zur Nachzeichnung und Analyse der Entwicklungspfade von Infrastrukturmöglichkeiten (Teil A) sowie unser erstes Fallbeispiel – die Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage in der Stadt Waiblingen (Baden-Württemberg) – (Teil B) vor.

Teil A: Analyserahmen: Beschreibung und Analyse von Entwicklungspfaden von Infrastrukturmöglichkeiten

Katharina Hölscher, Julia Wittmayer

Mit Kommentar von: Martin Hirschnitz-Garbers (Ecologic Institut), Susanne Langsdorf (Ecologic Institut), Alfred Olfert (IOER), Steffen Maschmeyer (DRIFT)

A.1 Einleitung

Der hier vorgestellte Analyserahmen dient der Beschreibung und Analyse der Entwicklungspfade von zehn empirischen Fallstudien von gekoppelten Infrastrukturen. **Das Ziel des Analyserahmens ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad einer Infrastrukturmöglichkeit als Nischeninnovation festzustellen.**

Der Analyserahmen besteht aus den folgenden parallel und iterativ ablaufenden Analyseschritten: die Systemanalyse benennt (Abschnitt 1), beschreibt und analysiert die wesentlichen Systembestandteile, die Beschreibung des Entwicklungspfads einer Infrastrukturmöglichkeit als Nischeninnovation (Abschnitt 2), die Analyse der Veränderungsdynamiken untersucht die Einflussfaktoren und deren Wirkungen auf den Entwicklungspfad sowie die Akteure und deren Aktivitäten (Abschnitt 3), um mit den Einflussfaktoren umzugehen, und die Analyse des erzielten Beitrages des Entwicklungspfades der Infrastrukturmöglichkeit zu einer Nachhaltigkeitstransformation (Abschnitt 4). Abschnitt 5 gibt eine Übersicht über den Analyserahmen. Abschnitt 6 beschreibt das methodische Vorgehen zur Anwendung des Analyserahmens.

A.2 Systemanalyse

In der Transitionsforschung wird eine Systemanalyse dazu verwendet, die Kernelemente eines betrachteten Systems zu beschreiben (Findeisen und Quade 1985, Rotmans und Loorbach 2009). Dies ermöglicht eine Übersicht über die fundamentalen Bestandteile eines Systems, welche einen Einfluss auf die Entwicklungspfade von Nischeninnovationen und auf eine Transformation ausüben. Die Systembestandteile werden basierend auf der Multi-Level-Perspektive (MLP) benannt und durch Berücksichtigung der Multi-Level-Governance ergänzt.

Diese Systemanalyse dient dazu ein grundlegendes Verständnis über die Infrastrukturmöglichkeit als Nischeninnovation innerhalb eines sozio-technischen Systems herzustellen.¹ Da sozio-technische Systeme sich stets dynamisch verändern, stellt eine Systemanalyse auch immer eine Momentaufnahme dar. Sie ist zeitlich begrenzt auf den Anfang des Entwicklungspfades der Infrastrukturmöglichkeit. In diesem Sinne liefert sie einerseits Einsichten über den Stand des Systems zur Zeit der Entwicklung der Idee für die Infrastrukturmöglichkeit und erlaubt es den Grad der erstrebten bzw. erzielten Veränderung gegenüber dem existierenden Regime zu kontrastieren. Zudem werden durch diese Analyse bereits Einsichten auf Einflussfaktoren und deren Wirkungen auf den Entwicklungspfad gewonnen.

¹ Bei inter-sektoralen Infrastrukturmöglichkeiten werden streng genommen zwei sozio-technische Systeme betrachtet (bezogen auf die funktionalen Systemgrenzen). Es kann angenommen werden, dass durch die Kopplung ein neues System hervorbringt, beziehungsweise zu einer Neudefinition der funktionalen Systemgrenzen führt.

Die Systemanalyse umfasst die Eingrenzung des Systems und die Beschreibung der Systembestandteile.

A.2.1 Systemeingrenzung

Der erste Schritt in der Systemanalyse ist die Eingrenzung des Systems, in welchem die Nischeninnovation stattfindet. Bei der Festlegung der Systemgrenzen gehen wir davon aus, dass die Nischeninnovation innerhalb eines bestimmten Systems stattfindet und dessen Regime in Frage stellt. Wir benennen **geographische, funktionale und zeitliche Systemgrenzen** (Loorbach et al. 2015, van Raak 2016). Die geographische Systemeingrenzung bezieht sich auf die geographische Einheit in welcher die Nischeninnovation stattfindet (z.B. Versorgungsgebiet, Kommune, Region). Hierbei wird auf den Multi-Level-Governance-Ansatz zurückgegriffen (Hooghe und Marks 2003), um die geographische Eingrenzung auf ebenfalls geographisch definierten, politischen Entscheidungsfundungsebene zu positionieren. Dies ermöglicht es im weiteren Verlauf der Analyse die verschiedenen räumlichen Entscheidungsfundungsebenen und deren Rollen zu präzisieren (Bauknecht et al. 2015). Die funktionalen Systemgrenzen beziehen sich auf die (Teil-)Sektoren, in welchen die Infrastrukturen Dienstleistungen erbringen (z.B. Trinkwasserversorgung, Energieversorgung). Die zeitliche Systemgrenze für die Analyse bezieht sich auf den Zeitraum während der Formulierung der Projektidee des Nischenprojektes.

Es gilt zu beachten, dass systemische Grenzen immer arbiträr bleiben und vom jeweiligen Fokus, Kontext und Verständnis der Betrachterinnen und Betrachter abhängen (Göpel 2014, van Raak 2016). Dies bedarf einer **kritischen Reflektion über die Systemeingrenzung und einer Rückkopplung der analysierten Veränderungen innerhalb eines bestimmten (Teil-)Systems in Bezug auf eine gesamtgesellschaftliche Transformation** (Wittmayer et al. im Erscheinen, Wittmayer und Hölscher 2016).

Folgende Fragestellungen werden zur Systemeingrenzung gestellt:

- ▶ Was ist die für die Nischeninnovation relevante geographische Einheit und politische Entscheidungsebene (diese können aber müssen nicht identisch sein)?
- ▶ Welche Sektoren sind (durch die Kopplung) erfasst? Welche funktionalen Ausrichtungen (Zielsetzungen) sind inbegriffen?
- ▶ Wann wurde die Idee für die Infrastruktorkopplung formuliert?
- ▶ Wie verhält sich die Systemeingrenzung zu einer breiteren gesellschaftlichen Transformation?

A.2.2 Beschreibung der Systembestandteile

Der folgende Schritt beinhaltet eine Beschreibung der Systembestandteile. Hierfür verwenden wir die MLP als zentrales analytisches Rahmenwerk, welche Systeme und Systemveränderungen anhand von (dem Zusammenspiel zwischen) drei Ebenen konzipiert: Nischen, Regime und Landschaft (Geels 2002, Rip und Kemp 1998).

Nischen sind das „Labor“, der Inkubator oder ein geschützter Raum für die Entwicklung und Erprobung von Alternativen zu auf der Regime-Ebene etablierten Systemcharakteristika (z.B. neue Ideen, Paradigmen, Prozesse, Visionen, soziale, ökonomische, technische Innovationen) (Geels und Schot 2007, Smith und Raven 2012). Nischeninnovationen – d.h. in Nischen entwickelte Innovationen – basieren auf neuen Problemverständnissen und Visionen, neue Narrativen und Diskurse,

neue Organisations- und Finanzierungsstrukturen, und/oder neuen Zielvorgaben für Technologien und Infrastrukturen (Geels und Schot 2007, Raven et al. 2010, Frantzeskaki et al. 2012, Bos und Brown 2012). Für die Beschreibung der Infrastrukturmkopplung als Nischeninnovation sowie der weiteren relevanten Nischen sollten folgende Fragen betrachtet werden:

- ▶ Was war/ist die (explizite und/oder implizite) Leitidee der Infrastrukturmkopplung? Wie (und wo) wurde/wird diese konkret umgesetzt?
- ▶ Was macht diese Infrastrukturmkopplung zu einer Nischeninnovation? Worin besteht die Innovation der Infrastrukturmkopplung in Hinblick auf das bestehende Regime?
- ▶ Hat die Infrastrukturmkopplung 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 Infrastrukturmkopplung haben?

Das **Regime** beschreibt die allgemeingültige, angewandte und akzeptierte funktionelle Ausrichtung eines sozio-technischen Systems, die durch vorherrschende Strukturen (z.B. Infrastrukturen, gesetzliche Regelungen, Institutionen), Kulturen (z.B. Wertevorstellungen, Erwartungen) und Praktiken (z.B. Routinen, Stand der Technik) in der Praxis als realisiert vorzufinden ist (Rotmans und Loorbach 2010). Der Fokus bei der Beschreibung des Regimes ist auf den *relevanten Aspekten* des Regimes mit Bezug auf die beschriebene Nischeninnovation, d.h. diejenigen dominanten Strukturen, Kulturen und Praktiken des betrachteten Systems, welche bestimmte Aktivitäten einschränken und andere ermöglichen:

- ▶ Was waren/sind relevante dominante physische Aspekte des Systems, z.B. angewandte Technologien, bestehende Infrastrukturen und andere materielle Gegebenheiten?
- ▶ Was waren/sind relevante Strukturen der Industrie, des Marktes, der Politik und der Gesellschaft (z.B. Regulierungen, Institutionen, Organisationsformen)?
- ▶ Was waren/sind relevante dominante sozial-kulturelle Merkmale des Systems, z.B. Wissensbasis, Normen, Werte, Diskurse und gesellschaftliche (Macht-)Verhältnisse?
- ▶ Was waren/sind relevante Praktiken, z.B. Routinen, tägliche Handlungen, Aktivitäten?

Die **Landschaft** beschreibt den weiteren Kontext des Systems im Sinne von gesamtgesellschaftlichen Trends, Umwelteinflüssen, Diskursen und institutionellen Rahmenbedingungen auf außerdem des Systems angesiedelten politischen Entscheidungsfindungsebenen. Die Landschaft ist nicht Bestandteil des sozio-technischen Systems, kann aber dessen Ausgestaltung, Betrieb und Entwicklung beeinflussen (Geels und Schot 2007). Obwohl die Landschaft außerhalb der direkten Einflussnahme von Regime und Nische agiert, können Regime- und Nischenveränderungen auch auf die Landschaft zurückwirken. Der Fokus ist auf den *relevanten Veränderungen* im weiteren Kontext, die Einfluss auf die Nischeninnovation und/oder das Regime haben oder von denen die Nischeninnovation ein Ausdruck ist. Hierunter fallen zum Beispiel die folgenden Aspekte: Umweltveränderungen (z.B. Klimawandel, Ressourcenverknappung), sozio-kulturelle und politische Entwicklungen (z.B. neue Diskurse und Ideologien, neue soziale Bewegungen, politische Ziele wie Energiewende, Umweltschutz, Gesundheitsvorsorge), grundlegendere sozio-ökonomische Veränderungen (z.B. demografischer Wandel, ökonomische Situation der Nutzer/Bevölkerung) (Smith et al. 2010). Die Landschaft

kann auch Einflüsse von benachbarten Regimes (z.B. Wassermanagement in einer anderen Stadt) oder breiter angelegten Nischenentwicklungen umfassen (van Raak 2016). Folgende Fragen sind zur Beschreibung der Landschaft zu adressieren:

- ▶ Was waren/sind die für die Nischeninnovation relevanten Akteure, Phänomene, 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 Infrastrukturmöglichkeiten vergleichbaren Nischen gab/gibt es außerhalb des/in anderen Systemen?

A.3 Beschreibung des Entwicklungspfads der Infrastrukturmöglichkeiten

Im zweiten Schritt des Analyserahmens fokussieren wir uns auf den Entwicklungspfad der Nischeninnovation. Ein **Entwicklungspfad** beschreibt die Entwicklung einer Infrastrukturmöglichkeit als Nischeninnovation von der Idee bis zum heutigen Stand. **Dieser Schritt dient dazu einen Überblick über die wesentlichen Ereignisse (und deren Abfolge sowie Einflussfaktoren) zu erhalten und die Entwicklung der Infrastrukturmöglichkeit als dynamischen Prozess zu beschreiben.**

Ein Entwicklungspfad wird anhand der wesentlichen Entwicklungsmomente und Wendepunkte während der Umsetzung der Infrastrukturmöglichkeit beschrieben. Ein **wesentlicher Entwicklungsmoment** bezieht sich auf einen wichtigen Schritt in der Umsetzung der Infrastrukturmöglichkeit. Ein **wesentlicher Wendepunkt** ist ein Moment oder Ereignis in einem Prozess an welchem die Infrastrukturmöglichkeit eine Kursveränderung durchführt oder erfährt/die Entwicklung der Infrastrukturmöglichkeit nachhaltig beeinflusst wird (Pel und Bauler 2015). Die Aneinanderreihung von Entwicklungsmomenten und Wendepunkten, welche in ihrer Gesamtheit den Entwicklungspfad darstellen, ermöglicht eine dynamische Beschreibung und Analyse des Prozesses einer Infrastrukturmöglichkeit als eine Abfolge von Ereignissen. Anstatt auf Ursachen und Faktoren zu fokussieren und isolierte Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren zu benennen, geht es darum den Blick auf dynamische Prozesse zu erweitern, um so den Zusammenhang zwischen Ereignissen, Akteuren, Entwicklungen, etc. sowie deren Wirkungen zu erkennen. Die Beschreibung von Entwicklungspfaden entlang wesentlicher Entwicklungsmomente und Wendepunkte erlaubt es auch um den Aspekt der „Zeit“ methodologisch in unsere Betrachtungen miteinzubeziehen, beispielsweise Fragen nach dem richtigen Timing, dem Fortwirken von vergangenen Veränderungen in die Zukunft und die Dauerhaftigkeit von Veränderungen (Kristof 2010; S. 526ff).

Die Entwicklungsmomente und Wendepunkte werden anhand der Literaturanalyse und der Interviews herausgearbeitet.

- ▶ Was waren konkrete Momente bzw. Schritte in der Entwicklung der Infrastrukturmöglichkeit (z.B. Installation physischer Strukturen, Inbetriebnahme, Modernisierung)?
- ▶ Was waren entscheidende Momente – d.h. wesentliche Wendepunkte – in der Entwicklung der Infrastrukturmöglichkeit, die es in eine bestimmte Richtung beeinflusst haben? (z.B. eine bestimmte Entscheidung oder Ereignis) – Diese Frage wird während der Interviews gestellt

Jeder Entwicklungsmoment und Wendepunkt wird innerhalb des übergreifenden Entwicklungspfades der Infrastrukturmöglichkeit eingeordnet, und besteht hierzu aus einer Definition des konkreten

ten Entwicklungsmomentes bzw. Wendepunktes, einer Beschreibung wie es zu dem Entwicklungsmoment oder Wendepunkt kam sowie mögliche Herausforderungen und Kontroversen rund um diesen Entwicklungsmoment bzw. Wendepunkt. Für diese Analyse wird auf die Erkenntnisse aus der Systemanalyse zurückgegriffen. Sie beinhaltet die folgenden konkreten Fragen per Entwicklungsmoment und Wendepunkt:

- ▶ **Definition:** Aus was besteht dieser Entwicklungsmoment/wesentliche Wendepunkt und wann (Datum oder Periode) fand er statt? Was macht ihn zu einem Entwicklungsmoment/Wendepunkt/Welche Veränderungen fanden statt?
- ▶ **Entstehung:** Welche bestimmten Ereignisse, Akteure, Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche Gegebenheiten ermöglichen den Entwicklungsmoment/wesentlichen Wendepunkt? Die Entstehungsmomente und Wendepunkte werden in akteursbezogene Aktivitäten und systemische Einflussfaktoren unterschieden. (siehe Abschnitt 3.3).
- ▶ **Herausforderungen:** Inwiefern beinhaltete der Entwicklungsmoment/wesentliche Wendepunkt Herausforderungen? Um welche Herausforderungen handelte es sich und welche Akteure/Organisationen waren involviert? Wie (wenn überhaupt) wurde die Herausforderung beigelegt?

A.4 Analyse der Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Im dritten Schritt richten wir uns auf die Analyse der Veränderungsdynamiken innerhalb des Entwicklungspfades. Die **Veränderungsdynamiken** beziehen sich auf die ko-evolutionären Prozesse innerhalb interdependent Systemelemente, deren Tempo, zeitlichen Verlauf und geographischen Ansiedlung (Grießhammer und Brohmann 2015). **Die Analyse der Veränderungsdynamiken generiert Einsichten über den Ablauf von Transformationsprozessen und gibt Aufschluss darüber, welche Prozesse, Dynamiken und Systemelemente den Entwicklungspfad (in erwünschte oder unerwünschte Richtungen) beeinflussen.** Zur Analyse der Veränderungsdynamiken wird jeder Entwicklungsmoment oder wesentlichen Wendepunkte anhand von Einflussfaktoren aus dem Kontext des Systems, in welchem die Infrastrukturmöglichkeiten umgesetzt wurde, und Aktivitäten von Akteuren um mit diesen Einflussfaktoren umzugehen kodiert.

A.4.1 Einflussfaktoren und Wirkungen

In diesem Schritt werden die verschiedenen systemischen **Einflussfaktoren**, welche während der Entwicklungsmomente zum Tragen gekommen sind, und deren Wirkungen auf den Entwicklungspfad untersucht. Die Einflussfaktoren verweisen auf Faktoren aus dem Kontext des Systems, welche den Entwicklungspfad einer Nischeninnovation beeinflussen können, indem sie beispielsweise neue Möglichkeiten oder Veränderungsfenster eröffnen, Innovationen stärken oder schwächen oder Druck auf das bestehende Regime ausüben (Frantzeskaki und de Haan 2009, de Haan und Rotmans 2011). Die Einflussfaktoren können somit unterschiedliche **Wirkungen** auf den Entwicklungspfad ausüben, indem sie die Nischeninnovation unterstützen und/oder hemmen.

Die Kategorisierung von Einflussfaktoren greift auf die Unterscheidung in Konditionen und Antriebskräften, welche sich aus dem Zusammenspiel von den MLP-Ebenen ergeben, zurück (ebd.), spezifizieren diese allerdings weiter. Infrastrukturmöglichkeiten als Nischeninnovationen können durch folgende Einflussfaktoren kategorisiert werden:

- ▶ **Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):** Innerhalb des soziotechnischen Systems können Nachfrageveränderungen bzw. neue gesellschaftliche Bedürfnisse zu spezifischen Innovationsbemühungen führen und/oder bestehende Regimebestandteile kritisieren oder delegitimieren (Frantzeskaki und de Haan 2009, Brand et al. 2016, Geels 2002).
- ▶ **Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):** Technische Entwicklungen bezüglich bestehender Strukturen, Kulturen und Praktiken können Optimierungsdruck oder internen Stress auf das Regime ausüben und/oder Möglichkeiten für Veränderungen eröffnen (Frantzeskaki und de Haan 2009, Frantzeskaki und Loorbach 2010, Geels 2002).
- ▶ **Lokale institutionelle Faktoren:** Lokale institutionelle Faktoren beziehen sich auf bestehende oder sich verändernde institutionelle Rahmenbedingungen im System (z.B. Praktiken, Gesetze, Markstrukturen), welche das bestehende Regime legitimieren oder die Innovation schützen können (Geels 2002, Frantzeskaki und de Haan 2009).
- ▶ **Anreize und Regulierungen:** (Die Ankündigung von) staatliche oder politische Regulierungen (z.B. Gesetze, Verordnungen) oder Anreizen (z.B. Förderprogrammen, Wettbewerbe) auf politischen Entscheidungsfindungsebenen außerhalb des Systems (z.B. auf EU- oder Bundesebene) können den Innovationsprozess einer Infrastrukturmöglichkeit beeinflussen (Brand et al. 2016).
- ▶ **Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen):** Metafaktoren können nur begrenzt von den Akteuren im System beeinflusst werden, sie üben aber einen Einfluss auf das System aus (Frantzeskaki und de Haan 2009, Geels und Schot 2007). Beispiele sind Klimawandel, Ressourcenverknappung oder gesellschaftliche Meinungen. Auch die breitere Nischenentwicklung einer Infrastrukturmöglichkeit kann sich auf den Entwicklungspfad auswirken, beispielsweise indem sich eine neue Technologie zu einer tragfähigen Alternative zum Regime entwickelt (ebd.).

Die Einflussfaktoren und Wirkungen werden anhand der folgenden Fragen untersucht:

- ▶ Welche Einflussfaktoren kamen im Laufe des Entwicklungsmomentes oder wesentlichen Wendepunktes zum Tragen?
- ▶ Was war die Wirkung der Einflussfaktoren (unterstützend und/oder hemmend)? Wodurch war diese Wirkung gekennzeichnet?

A.4.2 Akteure und Aktivitäten

Im nächsten Schritt identifizieren wir die innerhalb des Entwicklungspfades relevanten Akteure und deren Aktivitäten. Akteuren und Netzwerken werden eine wesentliche Rolle in der Unterstützung (und auch Behinderung) von Transformationsprozessen zugeschrieben (Fischer und Newig 2016, Avelino und Wittmayer 2015). Aus dieser Perspektive treten verschiedene Akteure sowie die Aktivitäten durch die sie agieren und mit den Einflussfaktoren umgehen in den Vordergrund.

Zunächst werden basierend auf Tabelle 1 die Akteure und deren Rollen im Entwicklungspfad benannt. **Akteure** können im Allgemeinen als eine soziale Einheit verstanden werden, die fähig ist zu agieren (Hermans 2010). Dies bezieht sich sowohl auf individuelle (z.B. politische EntscheidungsträgerInnen, BürgerInnen, UnternehmerInnen) als auch auf organisatorische Akteure (z.B. öffentliche Einrichtungen, Nichtregierungsorganisationen) (Avelino und Wittmayer 2015). Akteure können unterschiedliche **Rollen** einnehmen (Wittmayer et al. im Erscheinen). Einige Rollen können

nur von einem bestimmten Akteur wahrgenommen werden (z.B. Gesetzgebung), während andere Rollen von verschiedenen Akteuren eingenommen werden können (z.B. Visionen entwickeln). Zur Benennung der Akteure werden die Ebenen der Multi-Level-Governance sowie die Multi-Akteurs-Perspektive (MAP) verwendet. Erstere betonen die Ansiedlung von Akteuren auf unterschiedlichen Ebenen politischer Entscheidungsfindung (Hooghe und Marks 2003, Fischer und Newig 2016), letztere unterscheidet Akteure anhand von unterschiedlichen gesellschaftlichen Sphären (Markt, Regierung, Gemeinschaft (‘community’), Dritter Sektor). Folgende Fragen werden zur Benennung von den Akteuren und ihren Rollen im Entwicklungspfad beantwortet:

- ▶ Wer sind/waren relevante Akteure (siehe Tabelle A.1)?
- ▶ Was sind/waren deren Rollen im Entwicklungspfad der Infrastrukturkopplung/wie beeinflussen sie den Entwicklungspfad und wie verhalten sich diese zueinander?

Tabelle A.1: Die Akteure und ihre Rollen im Entwicklungspfad.

Akteur	Entscheidungsebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Um welchen Akteur handelt es sich? (Individuum oder organisatorischer Akteur?)	Auf welcher politischen Entscheidungsebene ist der Akteur angesiedelt?	Zu welcher gesellschaftlichen Sphäre gehört der Akteur?	Welche Rollen führt der Akteur in Bezug auf den Entwicklungspfad aus?
Beispiel	Supranational; National; Regional; Lokal	Öffentliche Hand; Markt Gemeinschaft (‘community’); Dritter Sektor	Initiiieren der Infrastrukturkopplung, Begleiten der Umsetzung, etc.
Akteur A (Individuum oder Organisation)
Akteur B (Individuum oder Organisation)

Im Weiteren werden die **Aktivitäten** von den Akteuren im Entwicklungspfad untersucht. Dies basiert auf der Annahme, dass Entwicklungspfade von den kollektiven Aktivitäten von Akteuren vorangetrieben werden können, indem sie beispielsweise Leitbilder entwickeln und verbreiten oder gesellschaftliche Aktivitäten koordinieren (Bauknecht et al. 2015). Es wird zwischen Transformativen und Orchestrations-Aktivitäten unterschieden (Hölscher et al. 2017). **Transformative Aktivitäten** ermöglichen die Entwicklung und Verankerung von Innovationen. Folgende Fragen werden zur Benennung der Transformativen Aktivitäten im Entwicklungspfad gestellt:

- ▶ Welche Aktivitäten dienen der Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?
- ▶ Welche Aktivitäten dienen der Anbindung der Innovation an den Kontext? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?

- ▶ Welche Aktivitäten dienen der Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?

Orchestrierungs-Aktivitäten dienen der Koordinierung von skalen- und sektorübergreifenden Akteuren und Netzwerken um Kohärenz herzustellen und Synergieeffekte zwischen Strategien, Aktionen und Ressourcen zu schaffen. Folgende Fragen werden zur Benennung von Orchestrierungs-Aktivitäten gestellt:

- ▶ Welche Aktivitäten dienen der strategischen Richtungssetzung? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?
- ▶ Welche Aktivitäten dienen der skalen- und ressortübergreifenden Mediation? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?
- ▶ Welche Aktivitäten dienen dem Setzen von Rahmenbedingungen? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen

A.5 Analyse des Beitrags des Entwicklungspfades der Nischeninnovation zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Im letzten Analyseschritt werden der erzielte Nachhaltigkeitsbeitrag sowie das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Infrastrukturmöglichkeiten betrachtet. Dies dient einer kritischen Reflektion über den Entwicklungspfad bezüglich dessen Wirkung auf eine Nachhaltigkeitstransformation innerhalb des Systems².

Die Analyse des **Nachhaltigkeitsbeitrages** (des Entwicklungspfades) der Infrastrukturmöglichkeiten zielt darauf ab, herauszustellen, ob und unter welchen Umständen die Infrastrukturmöglichkeiten zu einer nachhaltigeren Gesellschaft beitragen. Der Nachhaltigkeitsbeitrag wird basierend auf den expliziten und impliziten Zielen der Infrastrukturmöglichkeiten sowie auf dem Kriterienset des TRAFIS-Leitbildes untersucht (TRAFIS 1. Zwischenbericht, aktualisierte Version Januar 2017). Hierzu muss zunächst herausgearbeitet werden, welche der Kriterien für die Infrastrukturmöglichkeiten relevant bzw. nicht relevant sind.

- ▶ Wie ist der erzielte Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturmöglichkeiten hinsichtlich der Kriterien aus TRAFIS AP 1 entlang der vier Teile zu beurteilen: (1) Funktionalität 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?

Die Analyse in TRAFIS startet vom Standpunkt der Nischeninnovation und befragt deren Beitrag zu einer Transformation. Um darüber zu reflektieren, was sich durch die Nischeninnovation verän-

² Dieses System kann neu definiert sein, da eine inter-sektorale Infrastrukturmöglichkeit funktionale Systemgrenzen verändern kann.

dern (können), werden das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung des Entwicklungspfades der Nischeninnovation zu untersuchen. **Transformatives Potential** einer Nischeninnovation zeigt sich, wenn sie an einem Objekt oder einer Idee arbeitet oder eine Aktivität entfaltet welche Qualitäten zeigt um dominante Strukturen, Kulturen und Praktiken des Regimes in Frage zu stellen, zu verändern oder zu ersetzen (Wittmayer et al. 2015). Die **Transformative Wirkung** bezieht sich darauf, wenn die Nischeninnovation Beweise anführen kann, dass es zu Veränderungen im Regime gekommen ist (ebd.). Es kommt auf den Stand der jeweiligen Nischeninnovation an, ob hauptsächlich das Transformative Potential oder die Transformative Wirkung beschrieben wird. Das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung werden anhand folgender Fragestellungen analysiert:

- ▶ Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Aktivitäten der Infrastrukturmöglichkeit wird das Regime in Frage gestellt, d.h. die Legitimität oder Existenz dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken?
- ▶ Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Aktivitäten der Infrastrukturmöglichkeit kann bzw. wurde das Regime verändert, d.h. Teile der dominanten Strukturen, Kulturen und Praktiken?
- ▶ Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Aktivitäten der Infrastrukturmöglichkeit kann bzw. wurde das Regime ersetzt, d.h. (einen) Teil(e) dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken?
- ▶ Inwieweit und wodurch ist das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Infrastrukturmöglichkeit begrenzt bzw. konnte ihr Potential (noch) nicht weiter umgesetzt werden?

A.6 Zusammenfassung Analyserahmen

Tabelle A.2 fasst die Schritte und analytischen Fragestellungen des Analyserahmens zusammen.

Tabelle A.2: Zusammenfassung des Analyserahmens für TRAFIS AP 2.2.

Analyseschritt		Analysefragen
Systemanalyse	Systemeingrenzung	<ul style="list-style-type: none"> • Was ist die für die Nischeninnovation relevante geographische Einheit und politische Entscheidungsebene (diese können aber müssen nicht identisch sein)? • Welche Sektoren sind (durch die Kopplung) erfasst? Welche funktionalen Ausrichtungen (Zielsetzungen) sind inbegriffen? • Wann wurde die Idee für die Infrastrukturmöglichkeit formuliert? • Wie verhält sich die Systemeingrenzung zu einer breiteren gesellschaftlichen Transformation?
	Beschreibung der Systembestandteile	<p>Nische</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was war/ist die (explizite und/oder implizite) Leitidee der Infrastrukturmöglichkeit? Wie (und wo) wurde/wird diese konkret umgesetzt? • Was macht diese Infrastrukturmöglichkeit zu einer Nischen-

		<p>innovation? Worin besteht die Innovation der Infrastrukturkopplung in Hinblick auf das bestehende Regime?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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? <p>Regime</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was waren/sind relevante dominante physische Aspekte des Systems, z.B. angewandte Technologien, bestehende Infrastrukturen und andere materielle Gegebenheiten? • Was waren/sind relevante Strukturen der Industrie, des Marktes, der Politik und der Gesellschaft (z.B. Regulierungen, Institutionen, Organisationsformen)? • Was waren/sind relevante dominante sozial-kulturelle Merkmale des Systems, z.B. Wissensbasis, Normen, Werte, Diskurse und gesellschaftliche (Macht-)Verhältnisse? • Was waren/sind relevante Praktiken, z.B. Routinen, tägliche Handlungen, Aktivitäten? <p>Landschaft</p> <ul style="list-style-type: none"> • Was waren/sind die für die Nischeninnovation relevanten Akteure, Phänomene, 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 Entwicklungspfads	Identifizierung der Entwicklungsmomente und wesentlichen Wendepunkte	<ul style="list-style-type: none"> • Was waren konkrete Momente bzw. Schritte in der Entwicklung der Infrastrukturkopplung (z.B. Installation physischer Strukturen, Inbetriebnahme, Modernisierung)? • Was waren entscheidende Momente – d.h. wesentliche Wendepunkte – in der Entwicklung der Infrastrukturkopplung, die es in eine bestimmte Richtung beeinflusst haben? (z.B. eine bestimmte Entscheidung oder Ereignis)
	Beschreibung der Entwicklungsmomente und wesentlichen Wendepunkte	<ul style="list-style-type: none"> • Definition: Aus was besteht dieser Entwicklungsmoment/wesentliche Wendepunkt und wann (Datum oder Periode) fand er statt? Was macht ihn zu einem Entwicklungsmoment/Wendepunkt/Welche Veränderungen fanden statt? • Entstehung: Welche bestimmten Ereignisse, Akteure,

Analyse der Veränderungsdynamiken	Einflussfaktoren und Wirkungen	<p>Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche Gegebenheiten ermöglichen den Entwicklungsmoment/wesentlichen Wendepunkt? (akteursbezogene Aktivitäten und systemische Einflussfaktoren)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Herausforderungen: Inwiefern beinhaltete der Entwicklungsmoment/wesentliche Wendepunkt Herausforderungen? Um welche Herausforderungen handelte es sich und welche Akteure/Organisationen waren involviert? Wie (wenn überhaupt) wurde die Herausforderung beigelegt?
	Akteure und Aktivitäten	<p>Akteure</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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? <p>Transformative Aktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Aktivitäten dienen der Ermöglichung von Innovation und Nischenbildung? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Aktivitäten dienen der Anbindung der Innovation an den Kontext? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Aktivitäten dienen der Stärkung der Sichtbarkeit der Innovation? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? <p>Orchestrierungs-Aktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Aktivitäten dienen der strategischen Richtungssetzung? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Aktivitäten dienen der skalen- und ressortübergreifenden Mediation? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen? • Welche Aktivitäten dienen dem Setzen von Rahmenbedingungen? Welche Akteure sind an diesen Aktivitäten

Analyse des Beitrages zu einer Nachhaltigkeitstransformation	Nachhaltigkeitsbeitrag	beteiligt? Welche Einflussfaktoren werden adressiert? Wo bestehen Herausforderungen?
	Transformatives Potential und/oder Transformative Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Wie ist der erzielte Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastrukturmöglichkeit hinsichtlich der Kriterien aus TRAFIS AP 1 entlang der vier Teile zu beurteilen: (1) Funktionalität 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? <ul style="list-style-type: none"> • Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Aktivitäten der Infrastrukturmöglichkeit wird das Regime in Frage gestellt, d.h. die Legitimität oder Existenz dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken? • Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Aktivitäten der Infrastrukturmöglichkeit kann bzw. wurde das Regime verändert, d.h. Teile der dominanten Strukturen, Kulturen und Praktiken? • Inwieweit und durch welche Objekte, Ideen oder Aktivitäten der Infrastrukturmöglichkeit kann bzw. wurde das Regime ersetzt, d.h. (einen) Teil(e) dominanter Strukturen, Kulturen und Praktiken? • Inwieweit und wodurch ist das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Infrastrukturmöglichkeit begrenzt bzw. konnte ihr Potential (noch) nicht weiter umgesetzt werden?

A.7 Methodisches Vorgehen

A.7.1 Datenerhebung und -analyse

Der Analyserahmen wird auf zehn Beispiele von Infrastrukturmöglichkeiten angewendet, um deren Entwicklungspfade und Einflussfaktoren zu untersuchen. Die Daten zur Analyse werden nach folgendem Vorgehen erhoben und analysiert:

- ▶ Gerichtete Suche nach relevanten Dokumenten zum Fallbeispiel und deren qualitative Inhaltsanalyse entlang des Analyserahmens.
- ▶ Erarbeitung einer konzeptionellen Skizze der jeweiligen Entwicklungspfade sowohl textuell als auch visuell.
- ▶ Identifizierung von Wissenslücken und möglichen Interviewpartnern um diese zu schließen. Bei der Identifizierung von Wissenslücken ist insbesondere die Analyse der Nachhaltigkeitskriterien hilfreich: Diese dient dazu, konkrete Fragen für den Entwicklungspfad der Infrastrukturmöglichkeit zu identifizieren.
- ▶ Durchführung von zwei qualitativen, leitfaden-basierten telefonischen Interviews pro Beispiel, deren Dokumentation (vertraulich zu behandelnde Aufnahme des Interviews (nach

Zustimmung durch Interviewpartnerin oder Interviewpartner) mit anschließender Interviewzusammenfassung unter Heraushebung von relevanten, direkten Zitaten) und anschließende Freigabe durch Interviewpartnerin oder Interviewpartner.

- ▶ Auswertung der Interview-Daten und per qualitativer Inhaltsanalyse mit Kodierung entlang dem vorgeschlagenen Analyserahmen.
- ▶ Vervollständigung und finale Skizzierung der Entwicklungspfade textuell und visuell. In Zusammenarbeit mit einer Grafik-Designerin werden diese Entwicklungspfade visuell dargestellt – diese Visualisierung unterstützt die transdisziplinäre Kommunikation der Pfade sowie deren Diskussion in den Fachworkshops.
- ▶ Erstellung eines Berichtes über die Vorgehensweise.

Die Entwicklungspfade und Veränderungsdynamiken werden nach einem vorher festgelegten Format beschrieben, welches vom Analyserahmen abgeleitet ist. Dieses Format vereinfacht die Beschreibung und erhöht die Vergleichbarkeit. Letzteres ist insbesondere für die Arbeit in AP 2.3 relevant. In AP 2.3 wird eine Queranalyse der Ergebnisse der zehn Fallbeispiele vorgenommen. Hierzu werden die Ergebnisse mit Hilfe von Atlas.ti kodiert. Das methodische Vorgehen zur Queranalyse wird noch erarbeitet.

A.7.2 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 Infrastrukturmöglichkeiten und deren Einfluss auf eine Transformation zu gewinnen. Ein wesentlicher Fokus liegt auf der Identifizierung und Beschreibung der Entwicklungsmomente und wesentlichen Wendepunkte einer Infrastrukturmöglichkeit. 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 Infrastrukturmöglichkeit. 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 und Wendepunkte 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 wesentlichen Wendepunkten identifiziert. Die Wissenslücken dienen dazu offene Fragen insbesondere zur Systemanalyse zu schließen. Die Bezeichnung wesentlicher Wendepunkte dient dazu die Interviewpartnerin/den Interviewpartner ggf. zu unterstützen über Beispiele nachzudenken.

Leitfaden

Der Interviewleitfaden (Table A.3) orientiert sich an den im Analyserahmen genannten erwünschten Erkenntnisgewinnen. Der Fokus liegt auf Fragen zu den wesentlichen Entwicklungsmomenten und Wendepunkten, bedeutenden Einflussfaktoren, Entwicklungen und akteursbezogenen Prozessen sowie den Wirkungen der Infrastrukturmöglichkeiten.

Tabelle A.3: 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 Infrastrukturmöglichkeiten a.1 Was waren/sind die Hauptziele der Infrastrukturmöglichkeiten? a.2 Inwieweit war/ist die Infrastrukturmöglichkeiten innovativ? a.3 Inwieweit war/ist die Infrastrukturmöglichkeiten innerhalb breiterer gesellschaftlicher Nachhaltigkeitsentwicklungen positioniert? a.4 Wann und wie ist es zu der Infrastrukturmöglichkeiten und ihrer Umsetzung gekommen? Welche Ereignisse, Akteure/Initiatoren, Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche Gegebenheiten haben daran beigetragen? a.5 Wie steht es um die Infrastrukturmöglichkeiten heute? a.6 Wie war/ist die Struktur der Infrastrukturmöglichkeiten (z.B. wie wurde es finanziert, wie wurden Entscheidungen getroffen und von wem)?	Allgemeine Erkenntnisse über die Infrastrukturmöglichkeiten, ihre Ziele, Entwicklung und Auswirkung aus Sicht der Interviewpartnerin/des Interviewpartners. Erkenntnisse zur Beschreibung der Nische, Transformatives Potential

<p>(b) Fragen zum Entwicklungspfad und den wesentlichen Wendepunkten</p> <p>Dem Interviewpartner den Entwicklungspfad vorlegen:</p> <p>b.1 Sind durch diesen Entwicklungspfad alle wesentlichen Entwicklungsmomente der Infrastrukturmöglichkeit abgedeckt?</p> <p>b.2 Was waren entscheidende Momente – d.h. wesentliche Wendepunkte – in der Entwicklung der Infrastrukturmöglichkeit, die es in eine bestimmte Richtung beeinflusst haben? (z.B. eine bestimmte Entscheidung oder Ereignis)</p> <p>[möglichst zwei pro Interviewpartner abfragen]</p> <p>b.3 (Definition) Aus was bestand der wesentliche Wendepunkt und wann (Datum oder Periode) fand er statt? Was macht ihn zu einem Wendepunkt?</p> <p>b.4 (Entstehung) Welche bestimmten Ereignisse, Akteure, Entwicklungen, Umstände, Konditionen, räumliche Gegebenheiten innerhalb der Nische, des Regimes oder der Landschaft ermöglichten den wesentlichen Wendepunkt?</p> <p>b.5 (Kontroversen) Inwiefern beinhaltete der wesentliche Wendepunkt Kontroversen? Um welche Kontroversen handelte es sich und welche Akteure/Organisationen waren involviert? Wie (wenn überhaupt) wurde die Kontroverse beigelegt?</p>	<p>Erkenntnisse zur Beschreibung der wesentlichen Wendepunkte der Infrastrukturmöglichkeit einschließlich bedeutender Einflussfaktoren und Entwicklungen sowie akteursbezogener Prozesse</p>
<p>(c) Fragen über die weiteren Wirkungen der Infrastrukturmöglichkeit</p> <p>c.1 Wie verhält sich die Infrastrukturmöglichkeit zum existierenden Regime (im Interview spezifizieren, z.B. auf das Wassermanagement in der Stadt)?</p> <p>Inwieweit hat es Veränderungen hervorgerufen, und wenn welche? Probing: Denken Sie an z.B. existierende Technologien, Infrastrukturen und Routinen, institutionelle Rahmenbedingungen, Akteure</p>	<p>Erkenntnisse über die transformative Wirkung der Infrastrukturmöglichkeit und entstehende Transformationspfade</p>
<p>(d) Fragen über die Zukunft der Infrastrukturmöglichkeit und der Innovation</p> <p>d.1 Wie sehen Sie die Zukunft der Infrastrukturmöglichkeit bezüglich dessen Verankerung im Regime? Halten Sie weitere Entwicklungen für interessant oder notwendig?</p> <p>d.2 Denken Sie die Neuerung/Kopplung könnte so oder ähnlich auch in anderen Kontexten umgesetzt werden? Bzw. wurde dies bereits getan? Welche Möglichkeiten und Herausforderungen sehen Sie hierfür?</p>	<p>Erkenntnisse über den gegenwärtigen Stand der Infrastrukturmöglichkeit und deren Rolle in einer Transformation</p>

A.7.3 Methodische Reflektionen

Kritische methodische Reflektionen sind wichtig hinsichtlich folgender Aspekte:

- ▶ Verwendeten Methoden und Vorgehensweisen (TRAFIS AP 4)
- ▶ Dieses Forschungsvorhaben kann als Teil einer Transformationsforschung verstanden werden, welche die Beschreibung, Analyse und Unterstützung gesellschaftlicher Nachhaltigkeitstransformationen zum Ziel hat (Wittmayer und Hölscher 2017). Dieses Verständnis er-

fordert eine kritische Reflektion der Ergebnisse dahingehend, inwiefern die analysierten Infrastrukturmöglichkeiten an Transformationen von sowohl der betrachteten sozio-technischen Systeme also auch an der angestrebten gesamtgesellschaftlichen Transformation beitragen.

- ▶ Eine Reflektion über die Grundannahme des TRAFIS-Projektes, dass Infrastrukturmöglichkeiten wünschenswert sind.
- ▶ Die Auswahl der Infrastrukturmöglichkeiten beinhaltet schon die Hypothese, dass es sich um eine Nische handelt die ein bestimmtes Regime in Frage stellt. Hieraus kann eine Systemdefinition abgeleitet werden. Gleichzeitig sollte diese Arbeitshypothese empirisch hinterfragt und möglicherweise problematisiert werden.
- ▶ Reflektionen über die unterschiedliche Federführung bei den Fallstudien und mögliche Implikationen – auch grundsätzliche Vergleichbarkeit der Fallstudien.

A.8 Quellenverzeichnis

Avelino, F. und Wittmayer, J.M. (2015): Shifting Power Relations in Sustainability Transitions: A Multi-actor Perspective. *J. Environ. Policy Plan.* 1–22. doi:10.1080/1523908X.2015.1112259.

Bauknecht, D., Brohmann, B. und Grießhammer, R. (2015): Transformationsstrategien und Models of Change für nachhaltigen gesellschaftlichen Wandel: Gesellschaftlicher Wandel als Mehrebenenansatz. Bericht des AP2, Dessau-Roßlau: Bundesumweltamt.

Bos J.J. und Brown, R.R. (2012): Governance experimentation and factors of success in socio-technical transitions in the urban water sector. *Technological Forecasting and Social Change* 79(7):1340-1353.

Brand, U., Giese, B., von Gleich, A., Gößling-Reisemann, S., Petschow, U., Schnüller, C. und Thier P. (2016): Resystra - Zusammenfassung der Projektergebnisse für Abschluss-Workshop, 15./16.09.2016, Bremen. Bremen: Universität Bremen.
www.resystra.de. Letzter Zugriff: 04.01.2017.

De Haan, J. und Rotmans, J. (2011): Patterns in transitions: Understanding complex chains of change. *Technol. Forecast. Soc. Change* 78, 90-102. doi:10.1016/j.techfore.2010.10.008.

Fischer, L.-B. und Newig, J. (2016) Importance of actors and agency in sustainability transitions: a systematic exploration of the literature. *Sustainability* 8, 476.

Frantzeskaki, N. und de Haan, H. (2009): Transitions: Two steps from theory to policy. *Futures*, 41(9):593-606.

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.

Frantzeskaki, N., Loorbach, D. und Meadowcroft, J. (2012): Governing societal transitions to sustainability. *International Journal of Sustainable Development*, 15(1): 19-36.

Geels, F.W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Res. Policy* 31, 1257–1274. doi:10.1016/S0048-7333(02)00062-8.

Geels, F.W. (2005): The dynamics of transitions in socio-technical systems: A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). *Technol. Anal. Strateg. Manag.* 17, 445–476. doi:10.1080/09537320500357319.

Geels, F.W. und Schot, J. (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36: 399-417.

- Göpel, M. (2014): Navigating a New Agenda. Questions and Answers on Paradigm Shifts and Transformational Change. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energy GmbH.
- Grießhammer, R. und Brohmann, B. (2015): Wie Transformationen und gesellschaftliche Innovationen gelingen können. UFOPLAN-Vorhaben Transformationsstrategien und Models of Change für nachhaltigen gesellschaftlichen Wandel. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/wie-transformationen-gesellschaftliche-innovationen>. Accessed: 01.03.2016.
- Hermans, L. (2010) Actor Analysis, in: Enserink, B., Hermans, L., Kwakkel, J., Thissen, W., Koppenjan, J., Bots, P. (Eds.), Policy Analysis of Multi-Actor Systems, 79-108.
- Hölscher, K., Wittmayer, J.M., Maschmeyer, S. und Frantzeskaki, N. (2017): Transition Management als Meta-Governance-Rahmenwerk zur Gestaltung von Nachhaltigkeitstransitionen. Analyse von Governance-Kapazitäten durch Transition-Management-Interventionen in Gent und Montreuil. In: Kleinfeld, R., Hafkesbrink, J., Stuhldreier, J. (Hrsg.). Innovatives Regionalmanagement im demografischen Wandel. Springer.
- Hooghe, L. und Marks, G. (2003): Unraveling the Central State, But How? Types of Multi-Level Governance. Institute for Advanced Studies, Vienna, Wien.
- Kristof, K. (2010): Models of change - Einführung und Verbreitung sozialer Innovationen und gesellschaftlicher Veränderungen in transdisziplinärer Perspektive. Zürich.
- Loorbach, D., Frantzeskaki, N., Lijnis Huffenreuter, R., 2015. Transition Management: Taking Stock from Governance Experimentation. *J. Corp. Citizsh*: 48-66. doi:10.9774/GLEAF.4700.2015.ju.00008.
- Loorbach, D., Frantzeskaki, N. und Thissen, W. (2010): Introduction to the special section: Infrastructures and transitions. *Tech-nol. Forecast. Soc. Change*, 77: 1195–1202. doi:10.1016/j.techfore.2010.06.001.
- Pel, B. und Bauler, T. (Hrsg.) (2015): WP5 empirical research guidelines – annex to deliverable D5.2 TRANSIT, TRANSIT: EU SSH.2013.3.2-1 Grant agreement no: 613169.
- 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.
- Smith, A., Voß und J.-P., Grin, J. (2010): Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. *Res. Policy* 39, 435–448. doi:10.1016/j.respol.2010.01.023.
- Smith, A. und Raven, R. (2012): What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. *Research Policy*, 41(6): 1025-1036
- Van den Brugge, R. (2009): Transition dynamics in social-ecological systems: The case of dutch water management. PHD Dissertation. Erasmus Universiteit, Rotterdam.
- Van Raak, R. (2016): Transition policies. Connecting system dynamics, governance and instruments in an application to Dutch health care. PhD thesis, Erasmus University Rotterdam.
- Wittmayer, J. und Hölscher, K. (2016): Transformation Research: Goals, Contents, Methods. Workshop Report. (No. Drift 216). DRIFT, Rotterdam.
- Wittmayer, J. und Hölscher, K., (2017): Transformationsforschung – Definitionen, Ansätze, Methoden. Bericht des AP1. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Wittmayer, J., van Steenbergen, F., Loorbach, D., Mock, M., Omann, I. und Kirner, B. (2014): Exploring the transformative potential of communities, in: Wittmayer, J., Roorda, C., van Steenbergen, F. (Eds.), *Governing Urban Sustainability Transitions—Inspiring Examples*. DRIFT, Rotterdam, 89–89.

Wittmayer, J.M., Avelino, F., Dorland, J. Pel, B. und Jørgensen, M.S. (2015): Methodological guidelines Batch 2. TRANSIT Deliverable 4.3. TRANSIT: EU SSH.2013.3.2-1 Grant agreement no: 613169.

Wittmayer, J.M., Avelino, F., van Steenbergen, F. und Loorbach, D. (im Erscheinen). Roles in transition: insights from role theory for understanding sustainability transitions. EIST.

Teil B: Fallbeispiel: Wärmeerzeugung aus Abwasser in der Kläranlage Waiblingen

Katharina Hölscher, Moritz Müller, Julia M. Wittmayer (DRIFT)

Mit Input von: Jörg Walther (BTU), Alfred Olfert (IOER)

Mit Kommentar von: Martin Hirschnitz-Garbers (Ecologic Institut), Steffen Maschmeyer (DRIFT)

B.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 Wärmegegewinnung nutzt. Zusätzlich wurde eine 2.500 kW leistende Absorptionswärmepumpe installiert, die bivalent im Erdgas- bzw. 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 Abwasserwärmevernutzung organisatorisch und räumlich getrennte Infrastrukturangebote. Die Infrastrukturskopplung in der Kläranlage wurde als innovative technische Lösung entwickelt und umgesetzt, um das bislang ungenutzte Potential von Abwasserwärme für Wärmegegewinnung nutzbar zu machen. Die Anlage hatte somit das Potential, an Ressourceneffizienz beizutragen, die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Öl oder Gas zu reduzieren, CO₂-Emissionen zu senken und an lokaler Energieautarkie beizutragen (Bartel 2012, 2016, mündl., Stadt Waiblingen 2016). Somit kann sie auch einen Beitrag an einer lokalen Transformation hinsichtlich einer nachhaltigeren Energieversorgung leisten – ohne jedoch bestehende Systeme (wie z.B. 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 und Wittmayer 2017) und basiert auf einer Literaturanalyse

sowie auf zwei Interviews mit an dem Projekt beteiligten Akteuren und Akteurinnen (Anhang B.1).³ **Unser primäres Ziel ist es, die bedeutenden Einflussfaktoren auf den Entwicklungspfad der Infrastruktorkopplung festzustellen.** Dies beinhaltet auch eine Analyse der akteursbezogenen Prozesse, um aufzuzeigen, durch welche Aktivitäten Akteure mit den Einflussfaktoren umgegangen sind den Entwicklungspfad vorangetrieben haben und welche Herausforderung bestehen. Darauf hinaus analysieren wir den tatsächlich erzielten Beitrag (des Entwicklungspfades) der Abwasserwärmeanlage zu einer verbesserten Nachhaltigkeit und zu einer Transformation, um zu bewerten, inwieweit die Infrastruktorkopplung an einer Nachhaltigkeitstransformation beitragen kann.

Wir beschreiben zunächst den **Entwicklungspfad der Infrastruktorkopplung** 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 Abwasserwärmeverwendung an einer Nachhaltigkeitstransformation** (Abschnitt 4). Unser Fazit fasst die wesentlichen Erkenntnisse zusammen (Abschnitt 5).

Tabelle B.1: Steckbrief der Infrastruktorkopplung

	Beschreibung Infrastruktorkopplung	
Bezeichnung der Infrastruktorkopplung	Wärmeerzeugung aus Abwasser in der Kläranlage Waiblingen	
Zeitraum	Projektrealisierung: 1983 Modernisierung der Anlage: 2002 bis 2004 In Betrieb bis heute	
Umsetzungsort	Stadt Waiblingen (Baden-Württemberg)	
Kurzbeschreibung der Kopplung	In der Kläranlage Waiblingen wurde 1983 ein Heizkraftwerk errichtet, welches Abwasserwärme und Klärgase verwendet, um Wärme zu produzieren. Die Wärme wird über ein Fernwärmennetz an öffentliche und private Gebäude der Stadt geliefert. 2002 bis 2004 wurde die Anlage modernisiert und produziert seitdem auch Energie für den Betrieb des Heizkraftwerkes. Die Anzahl der Abnehmer wird stetig erweitert; es beziehen mittlerweile über 70 Gebäude Wärme aus der Kläranlage.	
Cluster der Kopplung	1. Dekarbonisierung 2. Alternative Energien-Cluster	
Kopplungen	1. Abwasserbehandlung (+ Gas-erzeugung) + Wärmeerzeugung + Wärmeverteilung	Nutzen: Eigenverbrauch (Wärme Kläranlage) Externe Verbraucher (Wärmeversor-

³ 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.

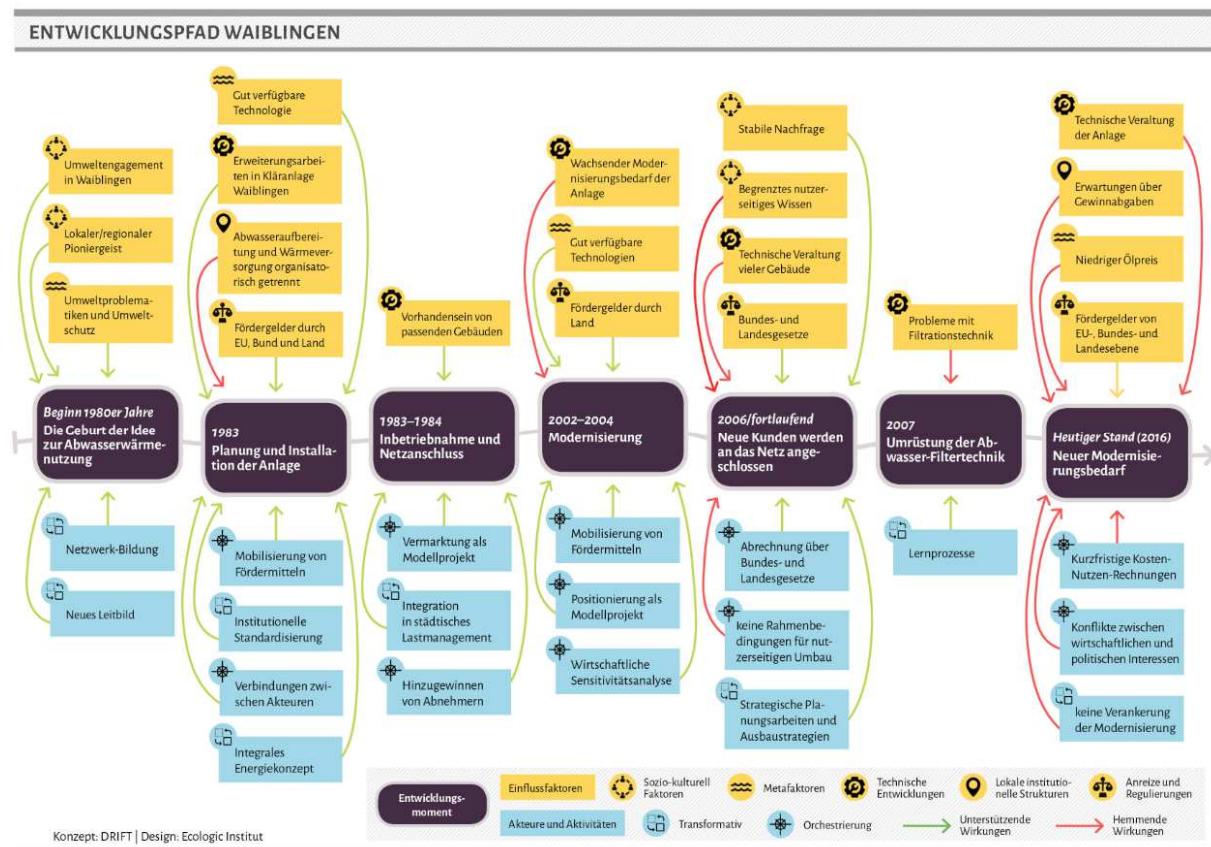
	Beschreibung Infrastruktorkopplung
	gung öffentlicher Gebäude)
	2. Abwasserbehandlung (+ Gas- erzeugung/Gasspeicherung) + Wärmeerzeu- gung/Stromerzeugung -+ Wär- meerzeugung (WP) - Wärme- verteilung
Nachhaltigkeitsbeitrag	<p><i>Nutzen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Eigenverbrauch (Wärme Kläranlage, Strom Wärmepumpe) Externe Verbraucher (Wärmeversor- gung öffentlicher Gebäude) Lastmanagement (Gas-, Strom- und Wärmeerzeugung) <ul style="list-style-type: none"> - Beitrag an Ressourceneffizienz - Reduzierung der lokalen Umweltwirkungen durch Verminderung von Emissionen und der Nutzung von fossilen Energieträgern - Sicherung der lokalen Energieversorgung durch Regionalisierung der Energieerzeugung (Nutzung regionaler Quellen) - Preisstabilität der Dienstleistung

B.2 Der Entwicklungspfad der Infrastruktorkopplung

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 Infrastruktorkopplung als Nische in Bezug zum bestehenden Regime der Abwasserwärmennutzung 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 B.1 gibt eine visuelle Übersicht über die wesentlichen Entwicklungsmomente innerhalb des Entwicklungspfades und die wesentlichen Einflussfaktoren.

Abbildung B.1: Der Entwicklungspfad der Abwasserwärmeanlage Waiblingen



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

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Die Abwasserwärmeanlage wurde mutmaßlich vom städtischen Gemeinderat in den frühen 1980er Jahren initialisiert (Bartel 2016, mündl.). 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 Abwasserwärmennutzung zurückgeführt werden. Es ist wahrscheinlich, dass vordenkende Akteure im Gemeinderat und/oder den Stadtwerken die Abwasserwärmennutzung als technisch innovativ erkannt haben und ausprobieren wollten.

Im Mittelpunkt der Idee der Abwasserwärmennutzung 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 Energieautarkei beizutragen und CO₂-Emissionen für Raumheizung und Wassererwärmung zu senken (Bartel 2012, 2016, mündl., 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) Fernwärmennetz Gebäuden in der Stadt zur Verfügung stellt.

Zum Zeitpunkt der Entwicklung der Idee zur Abwasserwärmennutzung 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, mündl.). 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, mündl.).

Nationale Gesetzgebungen gaben keine finanziellen Anreize, aber auch keine Hemmnisse, für die Umsetzung von Abwasserwärmennutzungsanlagen: Damalige nationale Regelungen zum Wärmeschutz von Gebäuden (z.B. Wärmeschutzverordnung 1977 und Folgende) beschränkten sich auf die Festlegung bauteilbezogener Kenndaten für Neubauten, z.B. 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 z.B. die Vorgabe von Betriebstemperaturen oder die Begrenzung Abgaswärmeverluste. Weiterhin wurden bauliche Verbesserungen, z.B. die Dämmung von Wärmeverteileitungen 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, mündl.).
- ▶ 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 z.B. 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 Abwasserwärmennutzung wurde – insbesondere in der Schweiz – seit den frühen 1980er Jahren durch Anlagen zum Entzug von Abwasserwärme innerhalb einer Liegenschaft, aus der Kanalisation und auf bzw. nach der Kläranlage realisiert (Müller und Butz 2010, Müller 2016, mündl.).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Aktivitäten geprägt:

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

B.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 Abwasserwärmennutzung. 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- bzw. 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 Ab-

sorptionswärmepumpe zu Revisionszwecken abgeschaltet werden musste. Zusätzlich gab es eine Gasfackel, über die das Klärgas bei einem Komplettausfall der Technik kontrolliert abgeflammten konnte. Außerdem wurden ein 300 Kubikmeter fassender Klärgasspeicher und ein 80 Kubikmeter großer Pufferspeicher für das geplante Fernwärmennetz installiert.

Die durch die Anlage generierte Kopplung von Abwasseraufbereitung und Wärmegegewinnung führte zu neuen Schnittstellen zwischen den Bereichen der Stadtwerke und der Stadtentwässerung. Die Stadtwerke Waiblingen waren (bzw. 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 (bzw. wird). Dadurch überschneiden sich unterschiedliche Organisationsstrukturen: Schnittstellen betreffen die Organisation der Leitung des warmen Wassers der Kläranlage durch die Wärmepumpe zur Wärmegegewinnung sowie die Rückführung des abgekühlten Wassers an die Stadtentwässerung (Bartel 2016, mündl.). 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 Abwasserwärmennutzung: Die Erzeugung von Wärme aus Abwasser hat sich damals noch nicht gerechnet. Trotz der Ölkrise 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, mündl.).
- ▶ 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 Abwasserwärmennutzung in Deutschland zu entwickeln (Müller 2016, mündl.).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Aktivitäten geprägt:

- ▶ Entwicklung eines integralen Energiekonzeptes und Gesamtkonzeptes für die Abwasserwärmennutzungsanlage zur 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 Energiekonzeptes 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, mündl.).
- ▶ 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.

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

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Im Sommer 1983 ist die Anlage zur Wärmegegewinnung aus Abwasserwärme und Klärgas in Betrieb gegangen, 1984 wurden die ersten (öffentlichen) Abnehmer an das Fernwärmennetz 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 Heizkraftwerk 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 Fernwärmennetz entsprechen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden Gebäude mit einem großen Wärmebedarf favorisiert (Mueller und Butz 2010).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Aktivitäten 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.

B.2.4 Entwicklungsmoment #4: Modernisierung (2002-2004)

Beschreibung des Entwicklungsmomentes:

Zwischen 2002 und 2004 im Rahmen von weitgehenden Modernisierungsmaßnahmen der Abwasserwärmennutzungsanlage 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 Abwasserwärmennutzung 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 B.2). Es wurde außerdem eine elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpe installiert (Abbildung B.3) 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 Spaltenlastkesseln 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 Fernwärmennetzrücklauf 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 B.2: Klärgas-Blockheizkraftwerk in der Kläranlage Waiblingen



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

Abbildung B.3: Kompressionswärmepumpe in der Kläranlage Waiblingen



Quelle: Bartel (2012; p. 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 CO₂-Minderungsprogramm „Klimaschutz – Plus“ des Landes Baden-Württemberg gefördert⁴.

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Aktivitäten 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, mündl.).
- ▶ 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.

⁴ Über das Klimaschutz-Plus-Förderprogramm werden je eingesparter Tonne CO₂ ein Betrag von 50 Euro ausgezahlt (Ecofys Germany GmbH et al. 2013).

B.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 Fernwärmennetz 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 Attraktivität 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.⁵ 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 Wärme auf einem meist hohen Wärmenniveau. 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, mündl.). Auf dem ehemaligen Gelände des Kreiskrankenhauses wurde ein Neubaugebiet errichtet. Da schon alle wesentlichen Fernwärmeanschlüsse gelegt waren, war es naheliegend, das Neubaugebiet an das Fernwärmennetz 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 Abwasserwärmennutzung: Herausforderungen bestehen unter anderem darin, dass viele Gebäude technisch sehr veraltet sind (Bartel 2012, 2016, mündl.). 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, mündl.). Zudem ist ein Fernwärmeanschluss im Vergleich zu der lokalen Erzeugung von regenerativen Energien am Haus oft wesentlich einfacher und billiger (ebd.).
 1. 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 pri-

⁵ Obwohl die Hinzugewinnung neuer Kunden fortlaufend ist, wird hier 2006 als Zeitpunkt für diesen Entwicklungsmoment aufgenommen. Dies ist der uns vorliegende einzige konkret kommunizierte Zeitpunkt hinsichtlich eines neuen Kundenanschlusses.

- märenergetische Qualität besitzt, dann gilt es als Ersatzmaßnahme im Rahmen dieses Gesetzes.
2. 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.
 3. 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).
 4. 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, mündl.): 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 Aktivitäten 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, mündl.): wo ist eine Verdichtung und Erweiterung des Netzes technisch und wirtschaftlich sinnvoll.

B.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, mündl.). Im Gesamten hat sich die Umrüstung als technisch nicht sinnvoll erwiesen (Bartel 2016, mündl.). 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 Aktivitäten 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.

B.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, mündl.). Die Anlage zur Abwasserwärmennutzung 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 CO₂-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 Veraltungsprobleme reduzieren die Effizienz der Anlage und erfordern 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, mündl.).

- ▶ Der günstige Ölpreis mindert die Rentabilität der Abwasserwärmeverwendung: Das Öl ist gerade sehr billig, welches die (kurzfristige) Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebes und einer Modernisierung verringern (Bartel 2016, mündl., Müller 2016, mündl.).

Dieser Entwicklungsmoment wurde von folgenden Akteuren und Aktivitäten 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 (z.B. um die Goldmedaille beim Energy-Award zu erhalten). Die Stadt würde dies allerdings nicht finanziell unterstützen.

B.3 Veränderungsdynamiken im Entwicklungspfad

Der Entwicklungspfad der Infrastrukturmöglichkeit 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 Aktivitäten der unterschiedlichen Akteure, und wie diese mit den Einflussfaktoren umgegangen sind. Tabelle B.2 gibt eine Übersicht über die Veränderungsdynamiken während der Entwicklungsmomente – den Einflussfaktoren und deren Wirkungen sowie der Akteure und Aktivitäten.

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

Entwicklungs-momente	Einflussfaktoren	Wirkungen	Akteure und Aktivitäten
#1: Die Geburt der Idee zur Abwasserwärmennutzung (Beginn 1980er Jahre)	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Wachsendes Umweltengagement in Waiblingen	Unterstützend: treibt Interesse an der Erschließung alternative Energiequellen	<i>Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):</i> Der Gemeinderat entwickelt ein neues Leitbild zur Abwasserwärmennutzung
	Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen): Pioniergeist in Waiblingen und Baden-Württemberg	Unterstützend: treibt Interesse an dem Ausprobieren von technischen Innovationen	<i>Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):</i> Bildung eines Netzwerkes mit den Stadtwerken als zentraler Akteur zur Ausarbeitung der Kopplungsidee
	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	<i>Ermöglichen von Innovation und Nischenbildung (Transformativ):</i> 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 Anlagen-installation an die Erweiterung der Kläranlage	<i>Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):</i> Anbindung der Abwasserwärmeanlage an die Erweiterung der Kläranlage Waiblingen
	Lokale institutionelle Strukturen: Abwasseraufbereitung und Wärmeversorgung als organisatorisch und räumlich getrennte Infrastrukturan-	Hemmend: keine Zusammenarbeit wesentlicher Akteure und möglicherweise Skepsis an der neuen Tech-	<i>Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):</i> Der Gemeinderat stellt Verbindungen zwischen Akteuren her (z.B. zwischen Stadtwerken und Stadtentwässerung)

	gebote	nologie und Kopplung	
	<i>Anreize und Regulierungen:</i> Förderung der Anlage als Modellprojekt durch EU-, Bundes- und Landesfördermittel	Unterstützend: stellt finanzielle Förderung zur Umsetzung der Anlage bereit	<i>Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):</i> Standardisierung von neuen Strukturen und Praktiken durch die Bildung neuer organisatorischer Schnittstellen zwischen Städtentwässerung und Stadtwerken <i>Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Gewinnung finanzieller Förderung von EU, Bund- und Landesebene
#3: Inbetriebnahme und Netzausbau (1983-1984)	<i>Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):</i> Vorhandensein von (öffentlichen) Gebäuden, die den Bedingungen für den Anschluss an das Fernwärmenetz entsprechen	Unterstützend: Gewinnung und Anschluss von Abnehmern der Abwasserwärme	<i>Skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):</i> Identifizierung und Hinzugewinnen von Abnehmern der Abwasserwärme: große, öffentliche Gebäude <i>Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):</i> Integration in städtisches Lastmanagement und Aufbau von langfristigen Lieferbeziehungen <i>Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):</i> Vermarktung der Innovation als Modellprojekt
#4: Modernisierung (2002-2004)	<i>Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):</i> Wachsender Modernisierungsbedarf der Anlage <i>Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen):</i> Gut verfügbare alternative Technologien für die Modernisierung <i>Anreize und Regulierungen:</i> Finanzielle Förderung der Modernisierung durch das Baden-Württembergische Förderprogramm „Klimaschutz – Plus“	Hemmend: vermindert die Effizienz und Tragfähigkeit der Abwasserwärmeanlage Unterstützend: bietet umsetzbare Möglichkeiten für eine Modernisierung und allgemeine Verbesserung der Anlage Unterstützend: stellt finanzielle Förderung zur Umsetzung der Modernisierung bereit	<i>Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Wirtschaftliche Sensitivitätsanalyse zur Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit der Modernisierung der Anlage <i>Strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):</i> Der Gemeinderat positioniert die Abwasserwärmeanlage als zentrales Modellprojekt innerhalb der städtischen Nachhaltigkeitsstrategie und übt umweltpolitischen Druck aus hinsichtlich der Notwendigkeit einer Modernisierung der Anlage <i>Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Mobilisierung von Fördermitteln des Landes Baden-Württemberg für die Modernisierung

#5: Neue Kunden werden an das Netz angeschlossen (2006 und fortlaufend)	<i>Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):</i> Stabiles Interesse an der Nutzung von Abwasserwärme auf Verbraucherseite	Unterstützend: Gewinnung neuer Kunden und somit auch stabil bleibende Nachfrage und Effizienz der Anlage	<i>Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):</i> Information durch die Stadtwerke über die (wirtschaftlichen) Vorteile der generierten Wärme/Gewinnung von Neukunden
	<i>Sozio-kulturelle Faktoren (lokale Nachfrageveränderungen):</i> Begrenztes nutzerseitiges Wissen über die Vorteile von Abwasserwärme und Fernwärme	Hemmend: mindert die Nachfrage an Abwasserwärmennutzung	<i>Die Sichtbarkeit der Innovation stärken (Transformativ):</i> Strategische Planungsarbeiten und Ausbaustategien der Stadtwerke zum Ausbau der Abnehmer
	<i>Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):</i> Technische Veralzung vieler Gebäude	Hemmend: mindert die Effizienz der Abwasserwärmennutzung und erfordert Umbaumaßnahmen auf der Verbraucherseite	<i>Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Es bestehen keine Rahmenbedingungen für technische Umbaumaßnahmen auf Nutzerseite
	<i>Anreize und Regulierungen:</i> Gesetze auf Bundes- und Landesebenen zur Förderung von Abwasserwärme	Unterstützend: verbessert die Vermarktungsmöglichkeiten von Abwasserwärme	<i>Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Die Stadtwerke rechnen die generierte Wärme über Bundes- und Landesgesetze ab, welche die Wirtschaftlichkeit erhöhen
#6: Umrüstung der Abwasser-Filtertechnik (2007)	<i>Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):</i> Probleme mit der alten (und neuen) Filtrationstechnik	Hemmend: erodiert die Anlagentechnik – das nachbehandelte Klärwasser führt zu Biofilmverschlammung von den Wärmetauscherflächen	<i>Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):</i> Die Stadtwerke standardisieren und passen Praktiken und Lernprozesse über technische Bedingungen (z.B. zur Wartung der Anlage) an
Heutiger Stand (2016): neuer Modernisierungsbeford	<i>Technische Entwicklungen (lokale Angebotsseite):</i> Technische Veralzung der Anlage	Hemmend: vermindert die Effizienz und CO ₂ -Bilanz der Abwasserwärmeanlage	<i>Herausforderungen für Anbindung der Innovation an Kontext (Transformativ):</i> Fortdauernde Modernisierung der Anlage ist nicht institutional geregelt
	<i>Lokale institutionelle Faktoren:</i> 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 Finan-	<i>Herausforderungen für strategische Richtungssetzung (Orchestrierung):</i> Der Gemeinderat verweist auf das umweltpolitische Interesse an der (Modernisierung der) Abwasserwärmeanlage im Rahmen der städtischen Nachhaltigkeitsstrategie, aber es bestehen Konflikte zwi-

		<p>zierbarkeit der Modernisierung der Anlage mindern</p> <p>Hemmend: Minderung der Rentabilität der Abwasserwärmenutzung</p>	<p>schen wirtschaftlichen und politischen Interessen</p> <p><i>Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Keine Rahmenbedingungen für langfristigere Kosten-Nutzen-Rechnungen</p> <p><i>Herausforderungen für skalen- und ressortübergreifende Mediation (Orchestrierung):</i> 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</p>
	<p><i>Metafaktoren (breitere gesellschaftliche Trends und Entwicklungen): niedriger Ölpreis</i></p> <p><i>Anreize und Regulierungen:</i> Fördergelder von EU-, Bundes- und Landesebene für Abwasserwärmenutzung und Erneuerbare-Energien-Projekte</p>	<p>Unterstützend: können weitere Modernisierung begünstigen, der Erhalt von Fördergeldern ist allerdings arbeitsintensiv</p>	<p><i>Herausforderungen für Rahmenbedingungen setzen (Orchestrierung):</i> Bisher werden von den Stadtwerken keine Möglichkeiten zur Gewinnung von finanzieller Unterstützung von (vorhandenen) EU-, Bundes- oder Landesfördermitteln gesehen</p>

B.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 (siehe Fußnote 1).

Die Initialisierung und Planung der Abwasserwärmeanlage wurde weitestgehend von *lokalen soziokulturellen 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 Fernwärmennetz 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, mündl.).

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, mündl.). Seit den 2000er Jahren bestehen auf Bundes- und Landesebenen verschiedene Gesetze zur Förderung von Abwasserwärme und regenerativen Energien (z.B. das Erneuerbare Wärmegesetz). Diese geben gesetzliche Rahmenbedingungen nutzerseitige Anreize, Systeme mit regenerativer Energie nachzufragen und verbessern die Vermarktungsmöglichkeiten 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.

B.3.2 Akteure und Aktivitäten im Entwicklungspfad

In diesem Abschnitt fokussieren wir uns auf die akteursbezogenen Prozesse, welche den Entwicklungspfad der Infrastrukturmöglichkeiten 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 Orchestrations-Aktivitäten, die innerhalb des Entwicklungspfades zum Tragen kamen, und deren Wechselwirkungen mit den Einflussfaktoren. Aufgrund der Datenlage können einige der Akteure und Aktivitäten nur implizit benannt werden (siehe Fußnote 1). Tabelle B.2 gibt eine Übersicht über die Transformativen und Orchestrations-Aktivitäten der Akteure innerhalb der Entwicklungsmomente und in Bezug auf die Einflussfaktoren.

Tabelle B.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 Abwasserwärmeverwendungsanlage in Waiblingen wurde mutmaßlich vom Gemeinderat der Stadt Waiblingen initialisiert (Bartel 2016, mündl.), 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 Stadt⁶ – waren der zentrale organisatorische Akteur, sie übernahmen die Bauherrschaft für die Umsetzung der Infrastrukturmöglichkeiten. Auch sie hatten bereits frühzeitig einen 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.

Tabelle B.3: Akteure und ihre Rollen im Entwicklungspfad der Abwasserwärmeverwendungsanlage in der Kläranlage Waiblingen

Akteur	Entscheidungs-ebene	Gesellschaftliche Sphäre	Rollen
Stadtwerke Waiblingen	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (quasi-öffentliche)	Bauherrschaft, Planung, Verwaltung, Instandhaltung
Gemeinderat Waiblingen	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene)	Initierung
Städtische Abteilung der	Lokal	Öffentliche Hand	Nicht direkt involviert aber

⁶ 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.

Stadtentwässerung (heute: Eigenbetrieb)		(Kommunalebene) und Markt (quasi- öffentliche)	Betreiber der Kläranlage
Kläranlage Waiblingen	Lokal	Öffentliche Hand (Kommunalebene) und Markt (semi- öffentliche)	Ort der Umsetzung; nicht direkt involviert aber durch neue Schnittstellen und vertragliche Bedingungen mit den Stadtwerken einge- bunden
EnBW Energy Solutions Stuttgart	Multi-level (regio- nal bis global)	Markt	Planung, Bauleitung
Technische Firmen (z.B. Combitherm GmbH Fellbach)	Regional	Markt	Lieferanten der Technik (z.B. Combitherm: Lieferant Wärmepumpe)
Kunden (z.B. Kranken- haus, Rathaus, Hallen- bad, Galerie Stihl Waib- lingen)	Lokal	Markt	Abnehmer der Wärme
Wirtschaftsministerium des Landes Baden- Württemberg	Regional	Öffentliche Hand (Landesebene)	Projektförderer (Finanzie- rung); Gesetzgeber
Bundesministerium für Forschung und Technolo- gie	National	Öffentliche Hand (Bundesebene)	Projektförderer (Finanzie- rung Projektrealisierung und Modernisierung); Gesetzge- ber
Europäische Gemein- schaft	Supranational	Öffentliche Hand (in- ternationale Ebene)	Projektförderer (Finanzie- rung); Gesetzgeber

B.3.2.1 Transformative Aktivitäten

Transformative Aktivitäten 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 Abwasserwärmennutzung in Waiblingen sowohl initiiert, entwickelt und umgesetzt als auch in institutionellen und physischen Strukturen verankert haben.

Aktivitäten 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 Abwasserwärmennutzung 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 Abwasserwärmennutzung 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, mündl.).

Durch Aktivitäten zur *Anbindung der Innovation an den Kontext* wird die Abwasserwärmennutzung in institutionelle Strukturen integriert. Durch die Bildung von neuen organisatorischen zwischen der Stadtentwässerung und den Stadtwerken (z.B. 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 (z.B. 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, mündl.). Außerdem ist die fortdauernde Modernisierung der Anlage noch nicht institutionell geregelt, was problematisch hinsichtlich des gegenwärtigen Modernisierungsbedarfes ist.

Aktivitäten 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 Fernwärmennetz 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 Abwasserwärmennutzung bereit, um das nutzerseitige Interesse an Abwasserwärme zu mobilisieren, über die Vorteile der Abwasserwärme aufzuklären und um Neukunden zu gewinnen.

B.3.2.2 Orchestrierungs-Aktivitäten

Orchestrierungs-Aktivitäten 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 Aktivitäten 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 CO₂-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.

Aktivitäten 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 Vermittlungsaktivitäten 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, mündl.). Gerade in der Initialisierung sind die Kommunen die wichtigsten Partner: Die Kommunen selbst besitzen größere Gebäude, die interessant sind für die Abwasserwärmennutzung und sie haben die Verbindungen zu verschiedenen Akteuren (ebd.). In dem weiteren Verlauf des Entwicklungspfades nahmen diese Aktivitäten 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 (z.B. 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, mündl.). 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, mündl.). Stattdessen reduziert der derzeit niedrige Ölpreis die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

B.4 Beitrag der Infrastruktorkopplung zu einer Nachhaltigkeitstransformation

Der folgende Abschnitt diskutiert inwieweit die Infrastruktorkopplung 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 an Nachhaltigkeit und andererseits das Transformative Potential und/oder die Transformative Wirkung der Anlage.

B.4.1 Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastruktorkopplung

Der Nachhaltigkeitsbeitrag der Infrastruktorkopplung wird auf der Basis der Kriterien aus TRAFIS AP 1 analysiert, welche sich in vier Teile gliedern: (1) Funktionalität der Kopplung, (2) soziale und ökonomische Verträglichkeit, (3) Ressourcenschonung und -effizienz, (4) Versorgungssicherheit im Kontext wetterbedingter Störungen (TRAFIS 1. Zwischenbericht, aktualisierte Version Januar 2017).

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 (d.h. die Reinigung von Abwasser) beeinträchtigt wurde bzw. wird. Die Funktionalität 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 Fernwärmennetz.
- ▶ Um die Anlage effizient zu betreiben, ist eine stabile Nachfrage notwendig. Durch steigende Abnehmerzahlen konnte dies erreicht werden, und u.a. 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, mündl.). Durch die geringen nutzerseitigen Anpassungsnotwendigkeiten beim Anschluss an das Fernwärmennetz 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 kurzfris-

tigen Kosten-Nutzen-Rechnung gegenüber, die wegen der hohen Investitionskosten nicht positiv ausfallen kann:

- ▶ Die Installation der Anlage – einschließlich Wärmepumpen, Fernwärmennetz 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 Abwasserwärmennutzung. 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 Abwasserwärmennutzung trägt an Ressourceneffizienz bei, da Abwasserwärme als Energiequelle sonst verloren geht. Sie reduziert CO₂-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, mündl.). In Waiblingen wurden durch die Abwasserwärmeanlage bis zur Modernisierung 2002 jährlich rund 150.000 Liter Heizöl und rund 500 Tonnen CO₂ eingespart. Durch die Modernisierung sind dies noch mehr (Bartel 2012; Wendt-Schwarzburg et al. 2012). Weitere positive Umweltwirkungen der Abwasserwärmennutzung ist die thermische Entlastung der Gewässer (Müller 2016, mündl.), da sich eine überhöhte Abwassertemperatur negativ auf Ökosysteme auswirken kann (z.B. 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 CO₂-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 Fernwärmennetz 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.

B.4.2 Das Transformative Potential und/oder Wirkung der Infrastruktorkopplung

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, d.h. auf lokaler Ebene, in Frage gestellt, verändert oder ersetzt wird bzw. 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 (z.B. Heizkraftwerk, Wärmepumpen, Fernwärmennetz) in Wärme umgeleitet und Kunden zur Verfügung gestellt. Dies trägt zu einer veränderten Nutzung von Energieträgern – z.B. 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 Abwasserwärmennutzung 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 (bzw. 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 breiten-wirksamere 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, mündl.). Hier wären weitere Anpassungen notwendig, bzw. 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 CO₂-Einsparungen gegenüber anderen Energieträgern gehen gegen null.

Das Transformative Potential der Nischeninnovation „Wärmeerzeugung aus Abwasser“ ist zudem grundsätzlich, d.h. 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 z.B. 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 z.B. 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“.

B.5 Fazit

Die Fallstudie zur Abwasserwärmeanlage in der Kläranlage Waiblingen bietet tiefgreifende Einsichten in den langfristigen Entwicklungspfad einer Infrastrukturskopplung – 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

CO₂-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 Fernwärmennetzes 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 (z.B.

Deutschland) gesetzt oder die Systemgrenzen rein funktional gesetzt (d.h. 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, mündl.).

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 (z.B. 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 CO₂-Einsparungen beziehungsweise bis zu 20% der Investitionssumme. Außerdem unterstützt auch die skalenübergreifende Kommunikation von erfolgreichen Beispielen – wie Waiblingen – eine breitenwirksame Aufklärung über Abwasserwärmenutzung.

B.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. Letzter Zugriff: 10.11.2016.

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

Bundeszentrale für politische Bildung (2009): Geschichte der deutschen Umweltpolitik. <http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/dossier-umwelt/61136/geschichte?p=all>. Letzter Zugriff: 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. Letzter Zugriff: 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>. Letzter Zugriff: 15.11.2016.

- Hölscher, K. und Wittmayer J.M. (2017): Teil A: Analyserahmen: Beschreibung und Analyse von Entwicklungspfaden von Infrastrukturkopplungen. In: Hölscher, K. und Wittmayer J.M. (Hrsg.): Entwicklungspfade und Einflussfaktoren nachhaltiger und klimaresilienter Infrastrukturkopplungen. Working Paper, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- 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. Letzter Zugriff: 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/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. Letzter Zugriff: 10.11.2016.
- Müller, E.A. und Butz, J. (2010): Abwasserwärmennutzung 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. Letzter Zugriff: 10.11.2016.
- Stadt Waiblingen (2016): Gewässerschutz. <https://www.waiblingen.de/de/Die-Stadt/Unsere-Stadt/Nachhaltigkeit+Umwelt/Wasser+Abwasser/Gew%C3%A4sserschutz>. Letzter Zugriff: 15.11.2016.
- Umweltzentrum Karlsruhe (2016): Die ‚BUZO‘ - Der Verein. <http://www.umweltzentrum-karlsruhe.de/>. Letzter Zugriff: 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-Abwärme.pdf&usg=AFQjCNFRWCm6ay2MudXgjx3XDSKCsTBttQ&bvm=bv.142059868,d.d2s. Letzter Zugriff: 10.11.2016.
- 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>. Letzter Zugriff: 10.11.2016.

Anhang

Anhang B.1: Interviewpartnerinnen und -partner

Tabelle B.4: Übersicht über die Interviewpartnerinnen und -partner

	Name	Position	Rolle im Entwicklungspfad	Datum des Interviews	Art (telefonisch, persönlich)	Aufnahme des Interviews?
1	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
2	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