

CLIMATE CHANGE

33/2018

Diskurse und Leitbilder zur zukunftsfähigen Ausgestaltung von Infrastrukturen

Abschlussbericht im Rahmen des Projekts
"Notwendigkeiten und Möglichkeiten zur
klimaresilienten und zukunftsfähigen
Ausgestaltung von nationalen und
grenzüberschreitenden Infrastrukturen"

CLIMATE CHANGE 33/2018

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3714 48 101 0
UBA-FB 002691/1

Diskurse und Leitbilder zur zukunftsfähigen Ausgestaltung von Infrastrukturen

Abschlussbericht im Rahmen des Projekts "Notwendigkeiten und
Möglichkeiten zur klimaresilienten und zukunftsfähigen
Ausgestaltung von nationalen und grenzüberschreitenden
Infrastrukturen"

von

Dr. Jens Libbe
Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Berlin

Ulrich Petschow
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin

Jan Trapp
Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), Berlin

Unter Mitarbeit von:

Dr.-Ing. Wulf-Holger Arndt, Dr. Holger Floeting
Difu, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)
Zimmerstr. 13-15
10969 Berlin

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Potsdamer Str. 105
10785 Berlin

Abschlussdatum:

April 2018

Redaktion:

Fachgebiet I 1.6 KomPass – Klimafolgen und Anpassung
Inke Schauser

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Dezember 2018

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Im Rahmen der Europäischen Anpassungsstrategie und der Weiterentwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) rückt die Klimaresilienz von Infrastrukturen zunehmend in den Vordergrund. Wichtige Gründe hierfür sind die Anfälligkeit von Infrastrukturen gegenüber Klima-Extremereignissen, ihre zentralen Versorgungsfunktionen für Wirtschaft und Gesellschaft sowie lange Planungszeiten und Lebensdauern, die es notwendig machen, auch langfristige Wandelprozesse bei der Planung zu berücksichtigen. Neben der Frage, wie Infrastrukturen klimaresilienter gestaltet werden könnten, muss auch die Frage nach zukunftsfähigen Infrastrukturen und deren Dienstleistungen in einer immissionsneutralen, ressourcenleichten Gesellschaft gestellt werden.

Das im Auftrag des Umweltbundesamts durchgeführte Vorhaben „KLARIS – Klimaresiliente und zukunftsfähige Infrastrukturen“ zeigt auf, wie heutige Infrastrukturen vernetzt sind und welche Schwachstellen bestehen. Darüber hinaus wird aufgezeigt, wie zukünftige Infrastrukturen unter den Bedingungen des Wandels beschaffen sein könnten und – unter dem Leitbild der Klimaresilienz und Zukunftsfähigkeit – sein sollten.

Die vorliegende Veröffentlichung bildet den Abschlussberichten des Projekts. Aktuelle Diskurse zur zukunftsfähigen Entwicklung von Infrastrukturen werden vorgestellt und ein übergreifendes Leitbild zukunftsfähiger und klimaresiliente Infrastrukturen entwickelt. Das Leitbild stellt einen normativen Referenzpunkt für den weiteren Diskurs über die Weiterentwicklung von Infrastrukturen dar. Es betont die gesellschaftliche Funktion von infrastrukturbezogenen Grunddienstleistungen und verdeutlicht zugleich, dass Zukunftsfähigkeit vor allem auch bedeutet, dass diese notwendigen Grunddienstleistungen so erbracht werden müssen, dass der Bau und Betrieb von Infrastrukturen klimaneutral und ressourcenschonend erfolgt und für künftige Generationen bezahlbar bleibt. Insofern gilt es nicht nur nach der Absicherung vorhandener Infrastrukturen sondern auch nach ihrer notwendigen technischen, institutionellen und organisatorischen Weiterentwicklung und ggf. Transformation zu fragen. Resilienz kann dabei abstrakt durch eine Reihe grundlegender Prinzipien der Infrastrukturgestaltung zum Ausdruck gebracht werden wie sie sich gleichermaßen dem Resilienz- wie auch dem Transformationsdiskurs entnehmen lassen. Diese Prinzipien bedürfen ihrer Konkretisierung in Hinblick auf einzelne Infrastrukturen in deren jeweiligen räumlichen Kontexten.

Abstract

Increasing emphasis is placed on the climate resilience of infrastructures in the framework of the European adaptation strategy and the further development of the German adaptation strategy (DAS). Significant reasons for this are the vulnerability of infrastructures to extreme climate events, their key role as a supplier to the economy and society as well as long-running planning stages and lifespans which is why it's essential to take long-ranged transformation processes into account during the planning phase. Apart from the task of designing infrastructures to have greater climate resilience, it's vital to also pose the question of how sustainable infrastructures and their services can be provided in an emission-neutral, resource-efficient society.

Commissioned by the Umweltbundesamt (UBA), the project “KLARIS – Needs and Opportunities for Climate Resilient and Sustainable Design of National and Cross-Border Infrastructures” highlights the interconnectedness of today's infrastructures and points to their weaknesses. Furthermore, it illustrates potential designs for future infrastructures that are influenced by the conditions of change and what they – following the model of climate resilience and sustainability – should be.

The present publication is the final reports of the project. It presents current discourses concerning sustainable infrastructural developments and devises comprehensive guiding principles for sustainable and climate-resilient infrastructures. These principles pose as a normative point of reference for the further discourse about the development of infrastructures.

They underline the role infrastructure-related core services hold and at the same time clarify that sustainability primarily means that these necessary core services have to be performed in a way that ensures a climate-neutral and resource-efficient construction and running of infrastructures which will remain affordable for future generations. It is therefore not only essential to secure the already existing infrastructures but to also analyse them in terms of any necessary technical, institutional and organisational development and, if applicable, transformation. Resilience can be expressed in an abstract manner through a number of basic principles of infrastructure design which can be taken from the discourse on resilience as well as from the discourse on transformation in equal measure. These principles require concretisation with regard to individual infrastructures in each specific spatial context.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	11
Summary.....	17
I. Analyse der bisherigen Entwicklung von Infrastrukturen	25
1 Funktionen und Verständnisse von Infrastrukturen.....	25
1.1 Infrastrukturen als sozio-technische Systeme – Begriffsverständnis und Relevanz für gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung.....	25
1.2 Eigenschaften.....	28
2 Herausbildung und Wandel von Infrastrukturen.....	31
2.1 Historische Entwicklung in den 4 Sektoren	31
2.2 Lebenszyklus von Infrastrukturen.....	34
2.3 Infrastrukturen und dahinterliegende Weltbilder in Hinblick auf Technologie und Gesellschaft.....	36
2.4 Pfadabhängigkeiten und Pfadwechsel sozio-technischer Systeme	37
2.5 Bedeutsame wissenschaftlich-technische und/oder sozio-ökonomische Entwicklungen, die in der Vergangenheit und Gegenwart zu Pfadwechseln geführt haben	38
3 Aktuelle Diskurse zu Infrastrukturen	44
3.1 Infrastrukturen und Wendediskurse	45
3.2 Infrastrukturen und Transitionsdiskurse	45
3.3 Infrastrukturdiskurse in unterschiedlichen politischen Arenen	47
3.4 Internationale Entwicklungen mit Auswirkungen auf Infrastrukturen.....	47
3.5 Infrastrukturen zwischen Staat und Privat	49
4 Herausforderungen für zukunftsfähige Infrastrukturen.....	49
4.1 Zunehmende Kopplung von Infrastrukturen	50
4.2 Ko-Transformation und heterogene Dynamiken in Infrastruktursystemen.....	51
4.3 Erforderliche Anpassung von Sicherheitsphilosophien	52
II. Leitbild und Prinzipien für zukunftsfähige und klimaresiliente Infrastrukturen	55
1 Leitbilder – Definition, Rolle und Funktionen.....	55
1.1 Was ist ein Leitbild?	55
1.2 Funktionen von Leitbildern.....	57
1.3 Leitbilder in Bereichen mit infrastrukturellem Bezug.....	58
1.4 Grenzen von Leitbildern und Leitbildprozesse	59
1.4.1 Leitbildentwicklung	60
1.4.2 Leitbildimplementierung.....	61
1.4.3 Voraussetzungen für eine erfolgreiche In-Wert-Setzung von Leitbildern	62

2	Leitbilder zu Infrastrukturen.....	63
2.1	Energieerzeugung und -versorgung (Strom).....	63
2.2	Wasserversorgung und Abwasserentsorgung	66
2.3	Verkehr	68
2.4	Leitbilder und Infrastrukturen – Zwischenfazit	70
2.5	Neue Anforderungen an Infrastrukturen.....	71
2.6	Erweiterte Leitbilder für die Infrastrukturentwicklung	75
2.7	Leitbilder Daseinsvorsorge, Nachhaltigkeit und Resilienz	76
2.8	Gestaltungsprinzipien für resiliente Infrastrukturen.....	78
2.9	Resilienz Aspekte in unterschiedlichen Bereichen.....	82
2.9.1	Resilienz von Elektrizitätsinfrastrukturen	82
2.9.2	Resilienz von Wasserinfrastrukturen	82
2.9.3	Resilienz von Lieferketten und damit verbundenen Verkehrsinfrastrukturen	83
2.9.4	Resilienz von IKT-Infrastrukturen.....	83
2.9.5	Infrastrukturen und Resilienz – Zwischenfazit	84
3	Leitbild und Prinzipien für zukunftsfähige und klimaresiliente Infrastrukturen	84
4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	86
5	Literaturverzeichnis	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Perspektive auf Infrastrukturen im Projekt KLARIS	11
Abbildung 2:	Nachhaltigkeit und Resilienz von Infrastruktursystemen	17
Figure 3:	An outlook on infrastructures in the KLARIS project	18
Figure 4:	Sustainability and Resilience of Infrastructures	24
Abbildung 5:	Perspektive auf Infrastrukturen im Projekt KLARIS	27
Abbildung 6:	Resilienzdimensionen, Resilienzstrategien und Phasen der Resilienz (Prävention, Absorption und Erholung)	79
Abbildung 7:	Dimensionen, Eigenschaften und Prinzipien eines resilienten Energiesystems	80
Abbildung 8:	Nachhaltigkeit und Resilienz von Infrastruktursystemen	85

Abkürzungsverzeichnis

BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit
CCS	Carbon dioxide Capture and Storage: Großtechnische Vorhaben zur CO ₂ -Senkung durch unterirdische Endlagerung oder technische Abspaltung im Kraftwerk
CO₂	Kohlendioxid
COP21	United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties (UN-Klimakonferenz in Paris 2015)
Difu	Deutsches Institut für Urbanistik
EEA	European Environmental Agency
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
km	Kilometer
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunkstandard)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
PkW	Personenkraftwagen
PtX	Power-to-X: stromgenerierte Kraftstoffe
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme

Index of abbreviations

BMUB	Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety
CO₂	Carbon dioxide
DAS	German adaptation strategy
ICT	Information and communications technology
SGEI	European concept of services of general economic interest
UBA	Umweltbundesamt

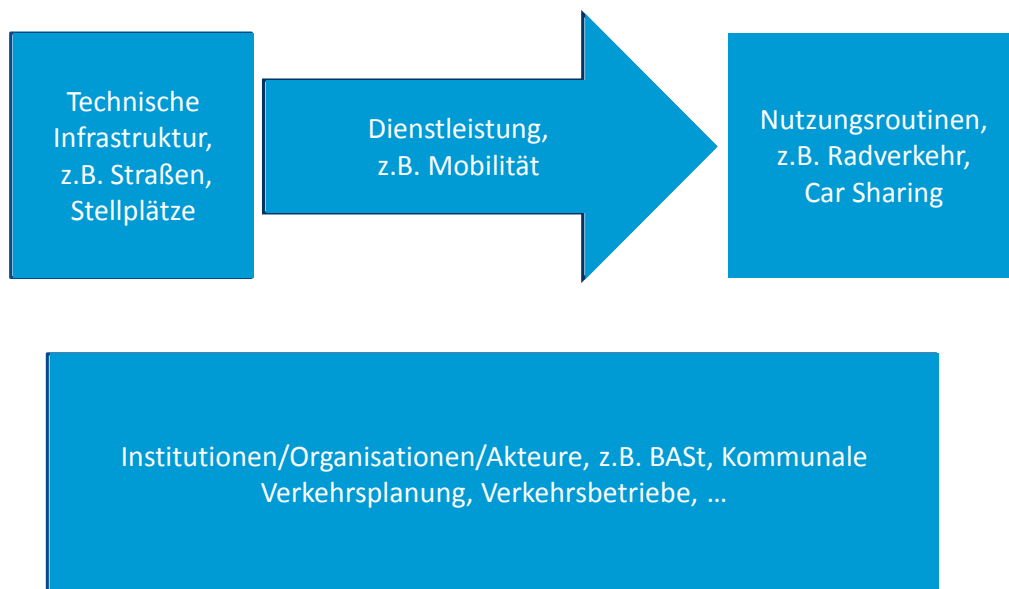
Zusammenfassung

Infrastrukturen haben eine grundlegende Bedeutung für wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung. Mit den Infrastrukturen werden die Austauschbeziehungen von Mensch und Natur wesentlich gestaltet bzw. reguliert.

In der vorliegenden Studie wird von einem weiten Verständnis von Infrastrukturen als sozio-technische Systeme ausgegangen. Unter die für diese Studie relevanten *technischen Infrastrukturen* fallen die Anlagen der Energieversorgung (Elektrizitätsversorgung, Gas- beziehungsweise Fernwärmeversorgung), der Wasserversorgung, der Entwässerung (Kanalisation und Kläranlagen), der Informations- und Telekommunikationstechnologie (IKT) und Verkehrsanlagen (Straßen, Wege, Plätze, Stellplätze, Nahverkehrssysteme mit Haltestellen) und aber auch (in dieser Studie jedoch nicht weiter berücksichtigt) Erschließungsgrünanlagen (Parks, Spielplätze, Schutz- und Trenngrün sowie Verkehrsbegleitgrün).¹

Es werden im Rahmen dieser Studie gebaute Infrastrukturen (ohne Wohn- und Bürogebäude) mit ihren gesellschaftlichen Funktionen bzw. den über sie erbrachten Dienstleistungen sowie den damit verbundenen Institutionen, Organisationen, Akteuren und Nutzungsroutinen betrachtet (vgl. Abbildung 1). Da Infrastrukturen eine grundlegende Bedeutung für wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung besitzen und als Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft auch der Sicherung der Daseinsvorsorge dienen, sollten sie zukunftsfähig, d.h. auch unter zukünftigen Bedingungen leistungsfähig sowie nachhaltig, und resilient gegenüber Störungen (wie Wetterextreme) sein.

Abbildung 1: Perspektive auf Infrastrukturen im Projekt KLARIS



Quelle: eigene Darstellung Umweltbundesamt

¹ Von den technischen Infrastrukturen abzugrenzen sind die sozialen ebenso wie die erwerbswirtschaftlichen Infrastrukturen.

Die Funktion und Gestaltung von Infrastrukturen ist eng mit den jeweiligen Zukunftsvorstellungen und Leitbildern der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung verbunden. Erwartungen und Vorstellungen über „die“ Zukunft und die vermeintlichen Anforderungen der Zukunft materialisieren sich über den Bau und Ausbau von Infrastrukturen. Gebaute Infrastrukturen realisieren also Zukunftsvorstellungen und wirken gleichzeitig auf Zukunftsvorstellungen zurück.

Die Ausgestaltung der Infrastrukturen einschließlich entsprechender Regulierungsmaßnahmen für die Art und Weise der Leistungsbereitstellung sowie den Zugang zu Infrastrukturen sind Resultat gesellschaftlicher Aushandlungsprozesse. Infrastrukturen stellen in diesem Sinne historisch gewachsene sozio-technische Systeme dar, die spezifische Entwicklungsvorstellungen widerspiegeln bzw. handlungsleitend werden lassen.

Die mit den Infrastrukturen verbundenen Muster der Governance sind vielschichtig und ihrerseits geprägt durch übergeordnete gesellschaftliche Kontexte, etwa der Realisierung sozialstaatlicher Gebote, der Verfolgung regionaler Entwicklungsziele oder der Durchsetzung von Wettbewerbsprämissen. Die Rolle öffentlicher Akteure (Staat, Kommunen) ist dabei eine mehrfache. Einerseits sind die öffentlichen Hände immer im Sinne der Genehmigung und Gewährleitung beteiligt, andererseits wurde und wird der Bau und Betrieb der Infrastrukturen in hybriden Formen zwischen öffentlich und privat realisiert.

Mit Blick auf die Ziele einer Nachhaltigkeitspolitik wie der Reduktion der Stoff- und Energieströme und damit eines entsprechenden Leitbilds der gesellschaftlichen Entwicklung unter Berücksichtigung ökologischer Belastungsgrenzen, werden auch Veränderungen an den technischen Infrastrukturen erforderlich, da die Interaktion von Mensch und Natur wesentlich auch durch die Infrastrukturen reguliert wird. Die Transformation in Richtung eines treibhausgasneutralen Deutschlands erfordert daher auch die Anpassung und Neugestaltung der bestehenden Infrastruktursysteme. Bei diesem Umbau handelt es sich um eine höchst komplexe Gestaltungsaufgabe, die gesellschaftlich getragen werden muss. Betroffen davon sind sämtliche Infrastrukturen in Hinblick auf deren Bau und Betrieb sowie das Zusammenwirken untereinander. Die konkreten Anpassungs- und Gestaltungsnotwendigkeiten unterscheiden sich allerdings in den unterschiedlichen Infrastrukturbereichen.

Herausbildung und Wandel von Infrastrukturen

Der technik-historische Blick auf die Herausbildung und Wandel von Infrastrukturen verdeutlicht, dass es sich um evolutionäre Prozesse handelt, die sich jeweils zwischen den betrachteten Infrastrukturen deutlich unterscheiden können. Der Fokus des Vorhabens auf die (stadt-)technische Infrastrukturen Energie, Wasser- und Abwasserentsorgung, ÖPNV und IKT zeigt auf, dass die Infrastrukturentwicklungen einerseits auf die Herausforderungen der Industrialisierung und Verstädterung reagierten und dass sie aber auch andererseits selbst, bzw. besser formuliert ihre Protagonisten und Interessenvertreter, die Entwicklung der Infrastrukturen vorangetrieben haben, um bspw. Absatzmärkte zu erschließen (beispielsweise Strom) und damit wiederum die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung mit zu gestalten. Die Anlässe der Herausbildung der Infrastrukturen waren durchaus heterogen, gleichwohl in der Regel geprägt von zentralen gesellschaftlichen Prozessen (Industrialisierung, Energieversorgung, Verstädterung) und/oder von deren „Nebenwirkungen“ (Mobilitätszunahme und -ermöglichung, Minderung der hygienischen Probleme in den rasant wachsenden Städten, Wasserver- und Entsorgung).

Es wurde jedoch nicht nur das durchgesetzt, was technisch möglich war. Der Ausbau der Infrastrukturen folgte zugleich auch spezifischen Prinzipien, die im deutschsprachigen Raum auch unter dem Begriff der Daseinsvorsorge subsummiert werden. Grundprinzipien der Daseinsvorsorge sind ein gleichberechtigter Zugang zu den über die Infrastrukturen erbrachten Leistungen, akzeptable Preise, Kontinuität und Universalität der Dienstleistung, angemessene Qualität sowie – da es um Grunddienstleis-

tungen geht, die häufig von öffentlichen Unternehmen erbracht werden – politische Kontrolle und Steuerung².

Die eigentlichen Infrastrukturdienstleistungen konnten allerdings durchaus unterschiedlich bereitgestellt werden. Die Bedeutung von Technologien (d.h. ihr Vorhandensein, ihre Charakteristika und Entwicklungspotenziale) spielt eine Rolle, wenn es um die Weiterentwicklung oder den Wandel der Art und Weise der Bereitstellung von Infrastrukturdienstleistungen geht. Der Energiesektor ist hierfür ein Paradebeispiel. Bereits der Übergang von Gas zu Elektrizität und damit die Herausbildung einer eigenständigen Strom-Infrastruktur zeigte, dass die angebots- und nachfrageseitigen Vorteile, in Verbindung mit den jeweiligen Akteuren, so deutlich waren, dass Pfadabhängigkeiten und „lock-in“ Effekte überwunden werden konnten. Heute ist die Situation durchaus ähnlich, wenn die Verknüpfung von veränderten politischen Rahmenbedingungen, neuen technologischen Möglichkeiten, umweltpolitischen Anforderungen und zunehmendem Wettbewerb die infrastrukturellen Akteure so unter Druck gesetzt hat, dass das technologische und wirtschaftliche Profil einer ganzen Branche zur Disposition steht. Technische Innovationen als Antrieb für die Ablösung bestehender Infrastrukturen sind in jüngerer Zeit im Kontext der Kommunikationsinfrastrukturen besonders deutlich geworden. Bemerkenswert in diesem Fall ist auch, dass keine vollständig neuen Infrastrukturen geschaffen werden sondern Teile der bestehenden Netzinfrastrukturen die Basis für die neuen digitalen Technologien darstellten. Hingegen ist im Falle der Abwasserinfrastrukturen festzustellen, dass die Beharrungskraft der bestehenden Lösungen groß ist und eine Neukonfiguration bzw. neue Systemlösungen nur unter sehr spezifischen Bedingungen möglich scheinen. Der Ansatz des Lebenszyklus der Infrastrukturen gibt eine Orientierung über die Entwicklung der Dynamiken der Infrastrukturen. In der Regel liegen große Hemmnisse für Pfadwechsel vor und es müssen, wie die historische Entwicklung zeigt, sehr klare Vorteile vorliegen, um einen Pfadwechsel zu ermöglichen.³ Für den Systemwechsel bedarf es aber auch eines entsprechenden politischen Impulses, wie das Beispiel der Energieversorgung bzw. die deutsche Energiewende deutlich macht.

Zur zukunftsfähigen Ausgestaltung von Infrastrukturen

Vor dem Hintergrund absehbarer ökologischer und ökonomischer, aber auch technologischer Limitierungen beginnen sich die Anforderungen an die Infrastrukturen zu verändern. Ergänzend zu einer möglichst unbegrenzten Leistungsbereitstellung treten vermehrt Anforderungen von Energie- und Ressourceneffizienz sowie finanzieller Tragfähigkeit und Robustheit gegenüber klimatischen Extremereignissen. Normativ damit verbunden ist die Transformation zu einer klimaverträglichen Gesellschaft ohne Nutzung fossiler Brennstoffe, in Verbindung mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und dem Verzicht auf die Nutzung der Kernenergie (WBGU 2011). Die vorhandenen Infrastrukturen stehen damit auf dem Prüfstand. Hinzu kommt, dass Infrastrukturen maßgeblichen Einfluss auf den mit ihren Dienstleistungen verbundenen Konsum haben. Infrastrukturen prägen ganz maßgeblich das Verhalten ihrer Nutzerinnen und Nutzer.

Der Diskurs um zukunftsfähige Infrastrukturen ist getragen durch die Frage, welche prägende Kraft den Infrastrukturen bei der Realisierung einer CO₂-neutralen Gesellschaft zukommt. Zu konstatieren ist, dass Infrastrukturen nur begrenzt im Fokus von wissenschaftlichen Ansätzen eines Green Growth, einer Green Economy, des Postwachstums oder des Degrowth stehen. Und auch in den Politikarenen zur Weiterentwicklung von infrastrukturellen Dienstleistungen von allgemeinem Interesse spielen

2 Vergleichbare Prinzipien finden sich auch im europäischen Konzept der Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichen Interesse (DAWI; vgl. Europäische Kommission 2013)

3 Mit Blick auf den Wechsel der eingesetzten Energieträger waren es in der Regel einerseits Kosten- und Nutzervorteile und andererseits Umweltherausforderungen, wie bspw. die Smogkatastrophe in London Anfang der 1950er Jahre, die zu einer Substitution der Energieträger geführt haben.

Klima-, Energie- und Ressourcenaspekte zwar eine gewichtige Rolle, stehen zugleich aber auch in einem Spannungsverhältnis zu anderen institutionellen, organisatorischen oder finanziellen Fragen der Zukunftsfähigkeit.

Im Vergleich verschiedener Infrastrukturbereiche ist zudem ein Defizit in Hinblick auf ein übergreifendes Verständnis ihrer Zukunftsfähigkeit zu konstatieren. Ursächlich hierfür ist die höchst unterschiedliche Dynamik in den einzelnen Bereichen. Ein übergreifendes Leitbild zukunftsfähiger und klimaresilienter Infrastrukturen existiert vor diesem Hintergrund für Deutschland derzeit nicht.

Zugleich nehmen die Kopplungen zwischen Infrastrukturen zu. Die Verknüpfungen zwischen Infrastrukturen werden zunehmend enger. Ursächlich hierfür sind vor allem die Entwicklungen in den Bereichen Energie (Umstieg auf CO₂-neutrale, erneuerbare Energien) und IKT (Digitalisierung und veränderte Prozesssteuerung). Die Kopplungen lassen sich gleichermaßen in physischer, räumlicher und informationstechnischer Hinsicht konstatieren. Der Nexus zwischen den Infrastrukturbereichen nimmt insofern deutlich zu und es ist vor dem Hintergrund der Erfordernisse des Ressourcenschutzes und notwendiger Effizienzsteigerungen zu erwarten, dass Infrastrukturen künftig zunehmend integriert entwickelt werden.

Die zunehmende Verknüpfung zwischen Infrastrukturen wirft die Frage auf, wieweit sich Infrastrukturen auch parallel transformieren lassen. Auffällig an der gegenwärtigen Situation ist, dass es neben der Energiewende vor allem die Digitalisierung ist, die die vorhandenen Systeme in Richtung einer Systemerneuerung und damit einer Transformation vorantreibt. Dies gleichermaßen in technologischer, institutioneller wie organisatorischer Hinsicht. Doch nicht nur das: auch die gesellschaftlichen Erwartungen an die mit den Infrastrukturen in Verbindung stehenden Dienstleistungen verändern sich damit.

Leitbilder und Infrastrukturen

Vor diesem Hintergrund ist eine Einordnung der Funktion von Leitbildern im Allgemeinen und ihrer Bedeutung für (technische) Infrastrukturen im Besonderen hilfreich. Damit verbunden gilt es zu klären, was bei der Genese und Umsetzung von Leitbildern besonders zu beachten ist, warum sie also entstehen, worauf sie aufbauen und wie sie umgesetzt werden.

Die Genese von Leitbildern ist durch historische Kontexte geprägt. Der Anlass ihrer Entstehung ist regelmäßig ausgelöst durch spezifische gesellschaftliche, stadt- und raumentwicklungspolitische, soziale, ökologische oder ökonomische Problemlagen. Auch technologische Entwicklungen werden durch Leitbilder geprägt, und Leitbilder wirken sich ihrerseits auf Technologien aus. Insofern sind auch Infrastrukturen in Phasen ihrer Entstehung immer wieder mit unterschiedlichen Entwicklungsvorstellungen verbunden gewesen. Nicht nur unterschiedliche Techniken und technische Systeme sondern auch unterschiedliche Leitbilder konkurrieren dabei miteinander. Zugleich sind Entscheidungen für bestimmte technologische Konfigurationen von Infrastrukturen stets auch mit raumstrukturellen und ökonomischen Weichenstellungen verbunden, die ihrerseits auf das Leitbild zurückwirken und planerisches oder wirtschaftliches Handeln vorbestimmen, also Pfadabhängigkeiten erzeugen. Konzeptionelle Leitbilder (Leitkonzepte), die problem- und zielorientiert Richtungsentscheidungen vermitteln, können technologischen Wandel und die Überwindung der Pfadabhängigkeit eines vorherrschenden Infrastruktursystems anstoßen. Sie benötigen ihrerseits aber politische Impulse. Letztere können Bottom-up entstehen, bedürfen zu ihrer Durchsetzung aber auch Entscheidungen im jeweiligen politischen und ökonomischen Umfeld (Top-down).

Einmal erfolgreich, müssen konzeptionelle Leitbilder spezifiziert werden: Gestaltungsleitbilder konkretisieren konzeptionelle Leitvorstellungen mit Blick auf spezifische Handlungsbereiche und geben somit Orientierung mit Blick auf Technologien, institutionelle Rahmenbedingungen und Organisationsformen.

Infrastrukturleitbilder können beides sein, sowohl Leitkonzept als auch Gestaltungsleitbild. Der Wandel konzeptioneller Leitbilder kommt einem infrastrukturellen Paradigmenwechsel gleich, hingegen unterstreichen Gestaltungsleitbilder das bereits etablierte Leitkonzept.

Leitbilder können gleichermaßen (Mit-)Auslöser künftiger infrastruktureller Pfadwechsel sein und (erfolgreiche) Leitbilder unterstützen den Wandel und geben ihm Richtungssicherheit. Bei sich verändernden Problemkonstellationen können existierende Leitbilder allerdings selbst wiederum verantwortlich für Pfadabhängigkeiten sein.

Gestaltungsleitbilder treten häufiger auf als Leitbildkonzepte, da sie letztere quasi in die Breite tragen und umsetzen. In den Gestaltungsleitbildern erfahren konzeptionelle Vorstellungen zugleich ihre Interpretation, orientiert an etablierten Technologien, Organisationsstrukturen oder institutionellen Rahmenbedingungen.

Die in Gestaltungsleitbildern zum Ausdruck kommenden Ziele und Maßnahmen sind überwiegend qualitativer Natur. Auf die Definition exakter Zielzustände für definierte Zeiträume wird dabei häufig verzichtet. Quantitative Ziele ergeben sich erst nachfolgend über die Umsetzung von Leitbildern. Die Anpassung von Infrastrukturen entsprechend der Leitbilder wird insofern als Näherungsprozess verstanden.

Subsidiaritätsprinzip und Selbstverwaltung in Verbindung mit Verantwortung für eine zukunftsfähige Weiterentwicklung von Infrastrukturen erscheinen insbesondere in Kernbereichen der kommunalen Daseinsvorsorge zentral. Übergeordnete staatliche Ebenen können initiiierend und auch organisierend wirken, bedürfen aber in der Umsetzung der nachgeordneten Ebenen.

Gestaltungsleitbilder machen dann Sinn, wenn in ihnen nicht nur Probleme, Ziele und Maßnahmen ausformuliert sind, sondern sie zugleich als Wegweiser und Motivation für konkretes politisches Handeln dienen. Das heißt, es sollten Verantwortlichkeiten für eine effektive Umsetzung zugewiesen sowie Willensbildungs- und Entscheidungsprozesse organisiert werden. Für die Umsetzung eines Leitbildes bedarf es insofern entsprechender institutioneller Strukturen.

Leitbildgenese wie Leitbildumsetzung sind als ein Prozess sukzessiver Annäherung zu verstehen. Hierbei kommt Schlüsselakteuren eine zentrale Rolle zu, indem sie zum Nachdenken über Leitvorstellungen aktivieren und Ideen in die Breite tragen. Der Prozess der Umsetzung ist dabei meist schwieriger als jener der Leitbildentwicklung und bedarf umfassender Formen der Beteiligung. Wichtig ist es darüber hinaus, dass der Prozess kohärent über verschiedene Politikfelder hinweg erfolgt und transparent nachvollziehbar ist. Dazu bedarf es insbesondere bei den Schlüsselakteuren notwendiger Weise auch entsprechender finanzieller, personeller, wissensmäßiger Ressourcen, um den Prozess realisieren zu können.

Insofern ist der Leitbildprozess mit der Fertigstellung des Gestaltungsleitbildes nicht abgeschlossen. Die eigentliche Arbeit beginnt dann erst. Beharrlichkeit ist dabei ganz generell als Schlüssel für die erfolgreiche Durchsetzung eines Leitbildes anzusehen.

Leitbild zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen

Ein übergreifendes Leitbild für zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen gibt es bisher nicht. In Anbetracht der aktuell sehr dynamischen Entwicklung in unterschiedlichen Infrastrukturbereichen und zahlreichen Wechselwirkungen zwischen Infrastrukturen muss dies als ein Defizit angesehen werden. Daher wurde im Ufoplan-Vorhaben KLARIS – Klimaresiliente und zukunftsfähige Infrastrukturen eine Positionsbestimmung vorgenommen. Anknüpfungspunkte für ein solches übergreifendes Leitbild bieten die Konzepte der Daseinsvorsorge, der Nachhaltigkeit sowie der Resilienz. Diese stehen in einer systematischen Beziehung zueinander (vgl. Abb. 2).

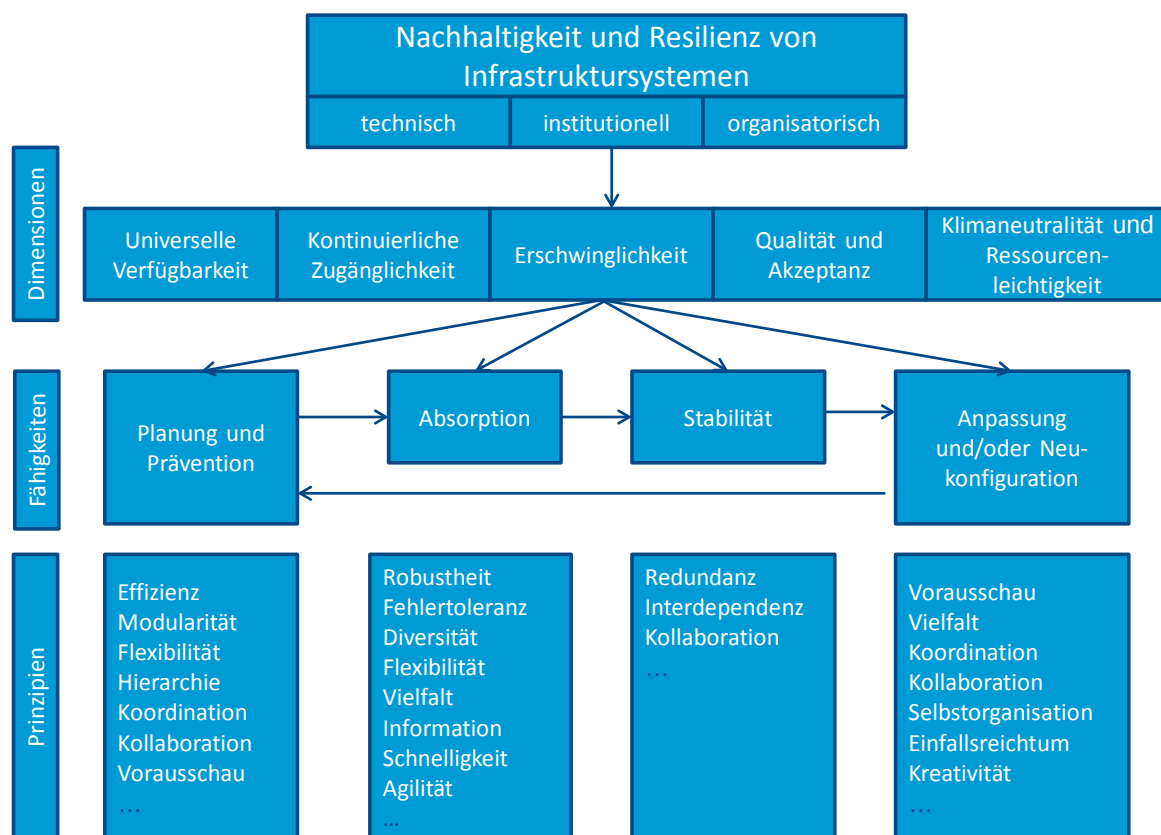
Das im Rahmen von KLARIS entwickelte Leitbild bringt diese konzeptionelle Beziehung zum Ausdruck und stellt damit zugleich einen normativen Referenzpunkt für den weiteren Diskurs über die Weiterentwicklung von Infrastrukturen da. Es betont die gesellschaftliche Funktion von infrastrukturbezogenen Grunddienstleistungen und verdeutlicht zugleich, dass Zukunftsfähigkeit vor allem auch bedeutet, dass diese notwendigen Grunddienstleistungen so erbracht werden müssen, dass der Bau und Betrieb von Infrastrukturen klimaneutral und ressourcenschonend erfolgt und für künftige Generationen bezahlbar bleibt. Da Infrastrukturen zudem maßgeblich das konsumptive Verhalten beeinflussen, sollten sie zu einer suffizienten Wirtschafts- und Lebensweise beitragen.

Zukunftsfähigkeit bedeutet, dass die infrastrukturelle Grunddienstleistung zu keinem Zeitpunkt und auch unter veränderten Umfeldbedingungen nicht gefährdet wird. Die Zukunftsfähigkeit von Infrastrukturen bedeutet, nicht nur nach der Absicherung vorhandener Infrastrukturen sondern auch nach ihrer notwendigen technischen, institutionellen und organisatorischen Weiterentwicklung und ggf. Transformation zu fragen. Was Resilienz dabei jeweils bedeutet, kann abstrakt durch eine Reihe grundlegender Prinzipien der Infrastrukturgestaltung zum Ausdruck gebracht werden wie sie sich gleichermaßen dem Resilienz- wie auch dem Transformationsdiskurs entnehmen lassen.

“Zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen ermöglichen einen universellen, kontinuierlichen, bezahlbaren und qualitativ hochwertigen Zugang zu den über sie erbrachten Dienstleistungen. Sie orientieren sich an gesellschaftlichen Bedürfnissen und tragen zu einer suffizienten Wirtschafts- und Lebensweise bei. Ihr Bau und Betrieb erfolgt klimaneutral und ressourcenschonend. Elementar ist zudem ihre finanzielle Tragfähigkeit, sodass dauerhafte Belastungen künftiger Generationen vermieden werden. Zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen können aufgrund ihrer Systemarchitektur externe Herausforderungen und Schocks auffangen, sodass ihre (Haupt-)Funktion nicht gefährdet wird. Sie sind zugleich solche, die die Möglichkeit des Systemwechsels in sich bergen (Transformation), in dem sie Offenheit und Anreize für das Ausprobieren neuer Lösungen bieten. Diese Fähigkeiten gelten in technologischer, institutioneller, organisatorischer Hinsicht.”

Das so formulierte Leitbild fungiert als übergreifender normativer Referenzpunkt. Es bringt zum Ausdruck, wie zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen sein sollen. Es zielt weniger auf eine spezifische materielle Gestalt von Infrastrukturen sondern auf Prinzipien ihrer stetigen Überprüfung und Weiterentwicklung. Ausgehend von diesem Leitbild lassen sich Zielvorstellungen für einzelne Infrastrukturen in ihren jeweiligen räumlichen Kontexten und im Dialog unterschiedlicher Akteure entwickeln.

Abbildung 2: Nachhaltigkeit und Resilienz von Infrastruktursystemen



Quelle: KLARIS

Das vorgelegte Leitbild ist ein Angebot an BMUB und UBA als Schlüsselakteure für den weiteren Prozess der Leitbildanreicherung und -implementierung. Es kann im Kontext von bundespolitischen bzw. umweltpolitischen Diskursen eingetragen und weiterentwickelt werden (etwa im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung oder des Integrierten Umweltprogramms 2030 des BMUB). In jedem Fall bedarf es für die Implementierung dieses Leitbildes einer entsprechenden Umsetzungsstrategie.

Summary

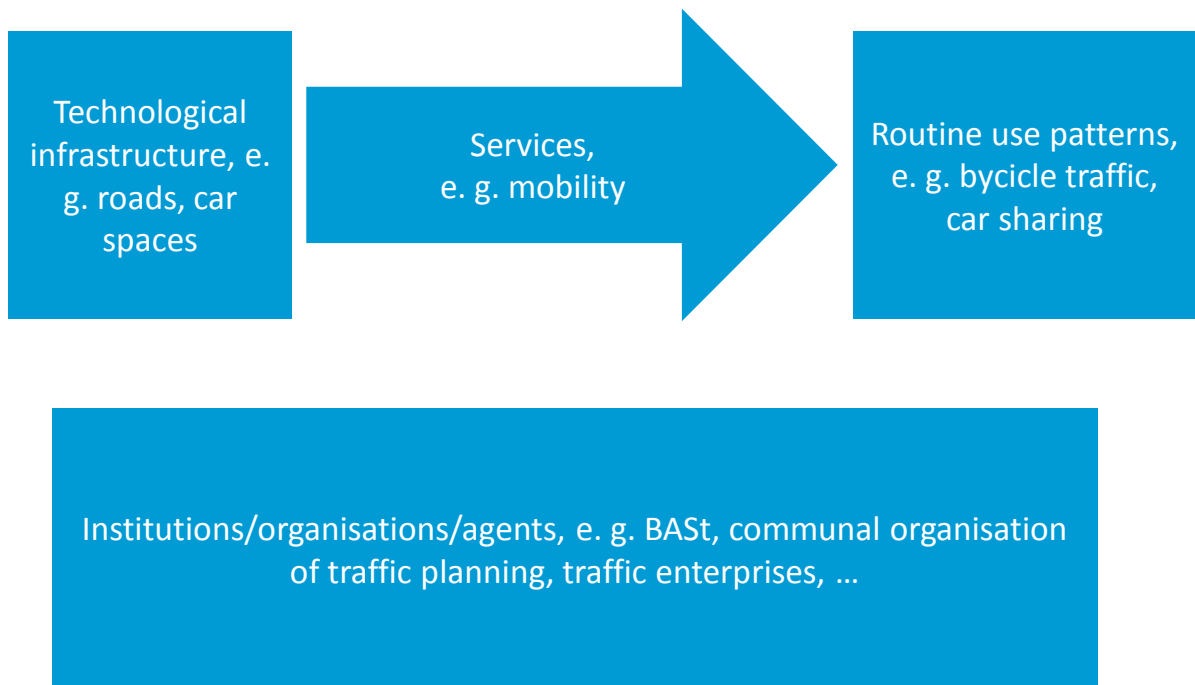
Infrastructures are of essential importance for economic and social development. They substantially shape and regulate the interaction between humans and nature.

The present study, in a broad sense, understands infrastructures as socio-technological systems. The for this study relevant *technological infrastructures* include the facilities of energy supply (power supply, gas or district heating supply), the water supply, the drainage (sewers and purification plants), the information and communications technology (ICT) and the traffic facilities (roads, paths, squares, car spaces, public transport systems including stations) but also (however not considered in this study)

green areas (parks, playgrounds, protective green spaces and greenways as well as mass planting along roads and motorways).⁴

This study observes constructed infrastructures (excluding residential and office buildings) and the roles they play in society and, respectively, the services that have been performed in this process and the institutions, organisations, agents and routines of use connected with this (see fig. 3). Because infrastructures are of key importance to economic and social development and by being a matter local communities deal with also serve to secure public services, they should therefore be sustainable they should be efficient as well as sustainable and resilient in future conditions in the face of disturbances (e. g. extreme weather).

Figure 3: An outlook on infrastructures in the KLARIS project



Source: own diagram Umweltbundesamt

The function and design of infrastructures is closely connected to the respective vision of the future and guiding principles of social and economic development. Expectations concerning “the” future and the future’s alleged requirements take shape through the construction and expansion of infrastructures. Constructed infrastructures therefore realise futuristic visions and, at the same time, retroact on futuristic visions.

4 Social as well as commercial infrastructures need to be looked at separately from the technological infrastructures

The infrastructural designing, including the respective official regulatory procedures which define how services are provided as well as how access to infrastructures is granted, are a result of a social negotiation process. On this view, infrastructures are socio-technological systems that evolved historically and which reflect development concepts and needs which subsequently turn into a driving force.

The governance patterns that are connected to infrastructures are complex and for their part shaped by superior social contexts such as the realisation of social welfare imperatives, the pursuit of local development objectives or the implementation of competition premises. In this, public agents (state, communities) occupy multiple roles. On the one hand, public authorities are always involved when it comes to giving approval and warranty. On the other hand, the construction and operation of infrastructures has been and is realised in hybrid forms between the public and private sector.

When looking at the objects of sustainability guiding principles such as the reduction of material flow management and energy flows and therewith an appropriate model for social development while taking account of ecological breaking points, changes to technological infrastructures are also becoming necessary, seeing as the interaction between humans and nature is substantially controlled by infrastructures. The transformation towards a greenhouse gas neutral Germany therefor requires adjustments and redevelopments of existing infrastructures. This conversion is a deeply complex organisational task and has to be supported by society. Infrastructures are affected in regards to their construction and operation as well as collaboration among each other. Specific needs in terms of adjustments and design, however, differ depending on the different infrastructural areas and fields.

Infrastructural Development and Change

Having a look infrastructural development and change from a technological and historical point of view illustrates that they are evolutionary processes which can differ distinctively depending on which infrastructure is being observed. The project's focus on the urban infrastructures energy, sewers and purification plants, public transport systems and ICTs makes it apparent that the infrastructural evolutions have, on the one side, reacted to the challenges of the industrialisation and urbanisation but that, on the other side they, or rather their protagonists and stakeholders, also advanced and forwarded the development of infrastructures to, for instance, access markets (e. g. electricity) and by that shaping the economic and social development. Occasions for shaping infrastructures were certainly heterogeneous, although they were generally characterised by central social processes (industrialisation, energy supply, urbanisation) and/or by their "side effects" (increased mobility and access to it, improved hygiene measures in rapidly growing cities, water supply and disposal).

However, not only feasible measures were realised. Infrastructural expansion also followed specific principles which are subsumed as public services of general interest (Daseinsvorsorge) in the German-speaking world. Basic principles of public services are an equal access to the services which are rendered via infrastructure, reasonable prices, continuity and universality in services, adequate quality as well as – since it's a matter of core services that are often offered by public companies – political monitoring and governance⁵.

The actual infrastructural services, however, were able to be provided in different ways. The meaning of technologies (meaning their availability, their characteristics and development potential) is of importance when the advancement or the change of the way of provision of infrastructural services are concerned for which the energy sector is a paramount example. The transition from gas to electricity and with it the development of an independent electricity infrastructure already showed that the ad-

5 Similar principles can be found in the European concept of services of general economic interest (SGEI; Europäische Kommission 2013)

vantages of supply and demand in connection with the respective agents had been so distinct that path dependencies and vendor lock-ins were overcome. There's a similar situation today when the combination of changed political framework conditions, new technological possibilities, ecopolitical demands and increasing competition pressured the infrastructural agents so much, that the technological and economic profile of an entire branch is a subject for negotiation. Technological innovation as a driving factor for the replacement of existing infrastructures have become particularly apparent more recently in the context of communications infrastructures. It is also noteworthy that in this case, no entirely new infrastructures are being created but that parts of the existing network infrastructure formed the foundation for the new digital technologies. By contrast, when looking at the sanitation infrastructures, it is apparent that the persistence of current solutions is vast and that a reconfiguration or new system solutions are seemingly only feasible under very specific conditions. The approach of infrastructural lifecycles provides means of orientation concerning the development of infrastructural dynamics. Normally, there are large barriers in regard to changing paths and in order to perform such a change, there have to be, as history shows, very distinct advantages.⁶ A change of system, however, also requires an appropriate political impulse which is exemplified by the energy revolution in Germany.

About Sustainable Infrastructural Design

Against the backdrop of foreseeable ecological and economical but also technological limitations, the requirements for infrastructures are beginning to change. Additionally to possibly unlimited performance, the demand for energy and resource efficiency as well as financial sustainability and robustness in the face of extreme climate events is arising. With this comes a normative connection to the transformation objective towards a climate-friendly society with a waiver of fossil fuels. This goes hand in hand with an expanded use of renewable energies and with the waiver of nuclear energy (WBGU 2011). The existing infrastructures are, by this, on trial. It also needs to be taken into account that infrastructures have a distinct influence on the consumption that results from infrastructural services. Infrastructures majorly shape the behaviour of their users.

The discourse on sustainable infrastructures is based on the question which driving force is benefiting the infrastructures with the realisation of a CO₂-neutral society. It needs to be stated that infrastructures are only partially in the focus of the academic approaches on Green Growth, Green Economy, the Post-Growth or of the Degrowth. And while aspects of climate, energy and resources matter in the political arenas concerning the advancement of infrastructural services that are of public concern, there is a definite tension with other institutional, organisational or financial questions of sustainability.

When comparing different areas of infrastructure, a deficit regarding an overall understanding of their sustainability can be noted. This is due to the very diverse dynamic in the different areas. There is no comprehensive model for sustainable and climate-resilient infrastructures in Germany currently.

Likewise, linkages between infrastructures are increasing. These infrastructural links are growing increasingly closer. A cause for this are, in particular, the developments in the sectors energy (the switch to CO₂-neutral and renewable energies) and ICT (digitalisation and changed process controls). The linkages can likewise be detected in a physical, spatial and information-technological regard. The nexus between the infrastructures is therefore increasing visibly and on the backdrop of the require-

6 The change of the used energy sources has been triggered by, normally, an advantage in their cost and benefits as well as environmental challenges such as the The Great Smog of London in the early 1950s. This has led to a substitution of energy sources.

ments of resource preservation and necessary efficiency enhancement, it can be expected that in the future, infrastructures will progressively be developed in an integrated manner.

The growing conjunction in infrastructures poses the question of how much infrastructural transformation can be a parallel development. It is noticeable that, next to the energy revolution, the digitalisation drives the current systems towards an innovation and by that to a transformation – which happens in an equally technological, institutional and organisational regard. But not only that: the expectations society has for services that can be connected to infrastructures are changing here through as well.

Guiding Principles and Infrastructures

At this, a classification for the function of guiding principles in general and of their meaning for (technical) infrastructures is particularly helpful. Therewith, further elucidation is required on what needs to be considered with the genesis and implementation of guiding principles. How are they emerging, what are they based on and how are they implemented?

The genesis of guiding principles is shaped by historical contexts and certain problematic situations triggered by social, urban and spatial development, ecological and economic issues are the cause for this. Technological progresses are also shaped by guiding principles which, for their part, are influencing technology. Therefore, infrastructures have continuously related to different development prospects during their development phase. The competition was not only imminent between different techniques and technological system here but also between different guiding principles. Likewise, decisions on certain technological infrastructural configurations are always connected with setting the direction in spatial-structural and economic aspects which, for their part, retroact the guiding principle and predetermine planning and economic actions. By that, they create a path dependency.

Conceptual guiding principles (guiding concepts), which convey directional decisions in a problem- and target-oriented way, can initiate technological change and the surmounting of said path dependency of a prevalent infrastructural system. They themselves, however, need political impulses. The latter can emerge bottom-up but, for their implementation, also need decisions in the respective political and economic environment (top-down).

Once they're successful, general conceptual principles need to be particularised: guiding principles specify conceptional general principles in view of specific ranges of action und thereby give an orientation concerning technologies, institutional framework conditions and forms of organisation.

Infrastructural guiding principles can be both a guiding concept as well as structuring guiding principles. The change of general conceptual principles equals an infrastructural paradigm shift. Structuring guiding principles, on the other hand, rather underline the already established underlying model.

Guiding principles are able to trigger or be a contributor to the triggering of future infrastructural path changes while (successful) guiding principles support said change and give it guidance towards the right direction. Though, in case the constellation of problems changes, existing principles themselves can, albeit, be the cause for path dependency.

Structuring guiding principles are more common than guiding principle concepts, since they create a broad-scale awareness for the latter and implement them. Conceptual ideas are being interpreted in the structuring guiding principles by using established technologies, organisational structures or institutional framework conditions as an orientation.

The objectives and measures expressed in the structuring guiding principles are of a predominantly qualitative nature. They often do without a definition of exact target states for defined time frames. Quantitative goals only surface later through the implementation of the guiding principles. The adjustment of infrastructures regarding the principles is therefore understood as a process of rapprochement.

The principle of subsidiarity and self-administration in connection with the responsibility for a sustainable infrastructural advancement are of seemingly central importance in the key areas of municipal public services. Higher-level government bodies can have both an initiating as well as an organisational impact, do however require the implementation of the subordinated levels.

Structuring guiding principles make sense when they do not only address problems, objectives and measures but also function as a way marker and motivation for specific political action. This means that responsibilities for an effective implementation should be assigned and processes for decision

making and developing an opinion should be organised. The implementation of this guiding principle needs respective institutional structures.

The genesis and implementation of a guiding principle are to be understood as process of gradual rapprochement. In this, key agents have a pivotal importance by initiating a reflection of guiding principles and by spreading ideas. The implementation process is oftentimes harder than the process of developing such principles and is in need of widespread forms of involvement. It is, in addition, vital that the process is transparent and understandable and happens in a coherent manner across political fields. This, in order to realise said process, calls for the necessary financial, personnel and knowledge-based resources to be specifically given to the key agents.

Insofar, the guiding principle process around the completion of the structuring guiding principles is not finished. The actual work is only starting there. Persistence can be seen as a general key for the successful implementation of a principle.

Guiding Principle for Sustainable and (Climate) Resilient Infrastructures

An overarching guiding principle for sustainable and (climate) resilient infrastructures has yet to be developed. With the currently highly dynamic developments in various infrastructural areas and numerous interactions, this should be treated as a deficiency. Hence, a positioning has been made in the Ufoplan-proposal KLARIS – climate-resilient and sustainable infrastructures. Starting points for such an overarching principle can be found in the public services, the area of sustainability and the area of resilience which have a direct relation to each other (see fig. 4).

The principle developed within the framework of KLARIS expresses this conceptual relationship and by that creates a normative point of reference for the further discourse on the advancement of infrastructures. It highlights the social function of infrastructure-related basic services und concurrently illustrates that sustainability mainly also means that said basic services have to be performed in a way so that the construction and operation of infrastructures is climate-neutral and resource-efficient and remains affordable for future generations. Since infrastructures furthermore have a substantial influence on consumptive behaviour, they should contribute to a sufficient economic system and way of life.

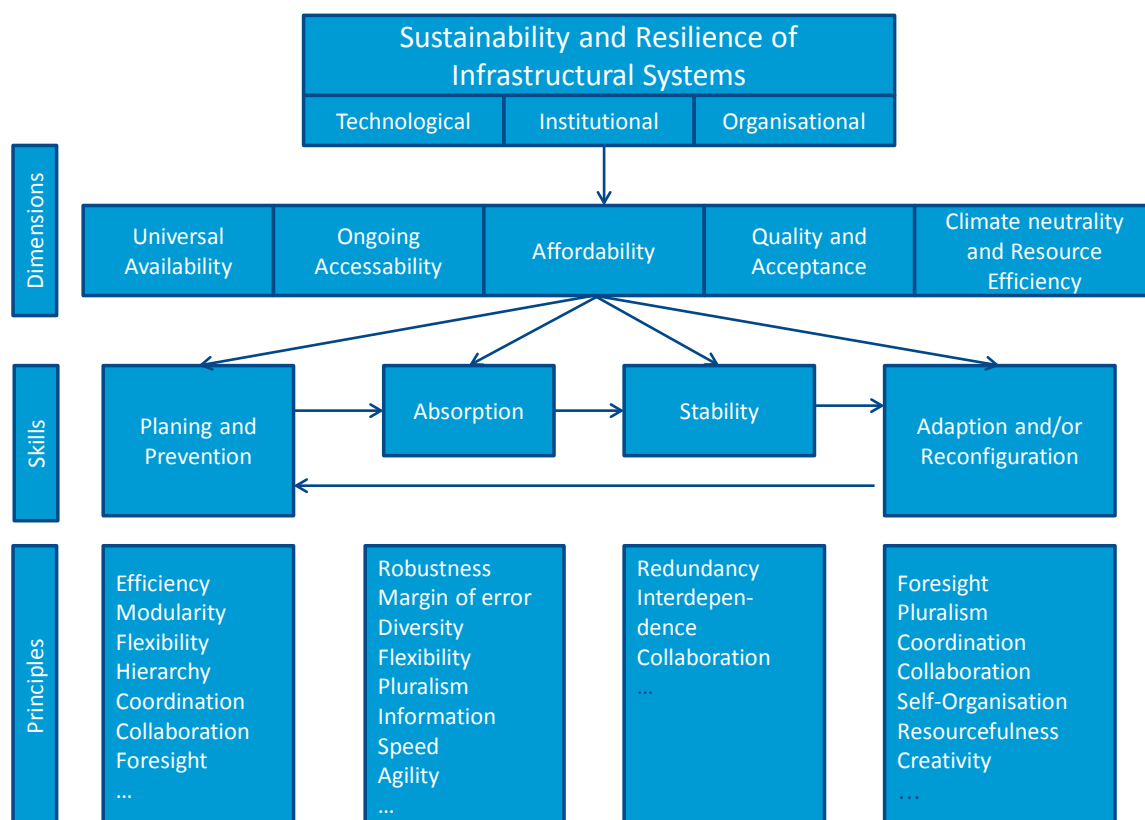
Sustainability means that the basic infrastructural services are not threatened at any point in time or under altered environment conditions. The sustainability of infrastructures means not only asking for securing the existing infrastructures but to also ask for their necessary technological, institutional and organisational advancement und, if applicable, transformation. The respective meaning of resilience in each context can be expressed in an abstract manner through a number of basic principles of infrastructural design which can be abstracted from the discourse on both resilience as well as on transformation.

“Sustainable and (climate) resilient infrastructures facilitate a universal, ongoing, affordable and high-quality access to the services which have been performed through said infrastructures. They are oriented towards the society’s needs and contribute to a sufficient economic system and way of life. Their construction and operation is conducted in a climate-neutral and resource-efficient manner. One of their key factors is their financial affordability so a permanent liability for future generations can be prevented. Sustainable and (climate) resilient infrastructures can, due to their system architecture, offset external challenges and shocks so that their (main) function is not compromised. They furthermore contain the possibility for a systemic change (transformation) by offering an open approach and an incentive towards novel solutions. These capabilities apply to a technological, an institutional and an organisational regard.”

The hereby formulated guiding principle functions as a comprehensive normative point of reference. It expresses how sustainable and (climate) resilient infrastructures are supposed to be. Its aim is not so

much a specific materialistic shape of infrastructures but more so the principles of their constant examination and advancement. Objectives for individual infrastructures in their respective spatial contexts and within the dialogue among different agents can be developed based on this guiding principle.

Figure 4: Sustainability and Resilience of Infrastructures



Source: KLARIS

The guiding principle is an offer from the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) and the Umweltbundesamt (UBA) which are both key agents for the further process of enhancing and implementing guiding principles. It can be endorsed and refined in the context of a Federal policy level or the ecopolitical discourse (e. g. sustainability strategy of the Federal Government or the Integrated Environmental Programme 2030 of the BMUB). In any case, the implementation of said guiding principle needs an appropriate implementation strategy.

I. Analyse der bisherigen Entwicklung von Infrastrukturen

Mit Blick auf die Gestaltung klimaresilienter und zukunftsfähiger Infrastrukturen ist es von großer Relevanz, die Entwicklungsdynamik der bestehenden Infrastruktursysteme nachzuzeichnen und die treibenden Kräfte der Entwicklung der Infrastrukturen zu identifizieren. Infrastrukturen sind Ergebnis gesellschaftlicher Leitvorstellungen und wirken auf die Gesellschaft vielfältig zurück. Sie sind Ergebnis von sozioökonomischen Entwicklungen und strukturieren individuelles wie gesellschaftliches Handeln – insbesondere unseren Umgang mit und den Zugriff auf natürliche Ressourcen.

Nachfolgend werden die generellen Muster gesellschaftlicher Einfluss- und Erfolgsfaktoren bei der Gestaltung von Infrastrukturen und deren Wechselwirkungen identifiziert. Ausgehend von den traditionellen Charakteristika und Funktionen, die den Infrastrukturen zugewiesen werden sowie dem historischen Entwicklungsprozess in den Sektoren Energie, Wasser, Mobilität sowie Informations- und Kommunikationstechnologie, wird auf die Bedeutung von Infrastrukturen in der aktuellen Umweltdiskussion eingegangen. Ein besonderes Gewicht wird im Weiteren auf zunehmende Kopplungen sowie maßgebliche Sicherheitsphilosophien bei der Gestaltung von Infrastrukturen sowie Erfolgsbedingungen und Hemmnisse bei deren Umbau gelegt. Die neue Qualität der Verknüpfung (Kopplung) von Infrastrukturen wird betont.

1 Funktionen und Verständnisse von Infrastrukturen

Der Sammelbegriff Infrastruktur ist von dem lateinischen “infra” (unten, unterhalb) abgeleitet und bezeichnet alle langlebigen Grundeinrichtungen personeller, materieller oder institutioneller Art, die das Funktionieren einer arbeitsteiligen Volkswirtschaft quasi als Unterbau garantieren. Im umfassenden Verständnis gehören zu Infrastruktursystemen neben physischen Bauwerken und technischen Elementen auch deren Betriebsweisen sowie die mit Infrastruktur befassten Institutionen⁷. Anders gesprochen: es handelt sich bei Infrastrukturen um komplexe Systeme mit schwer voneinander abgrenzbaren technischen, wirtschaftlichen und institutionellen Teilsystemen. Veränderungen im infrastrukturellen Gefüge wirken gleichermaßen auf diese unterschiedlichen Teilsysteme ein oder werden von diesen ausgehend ausgelöst. Infrastrukturen weisen dabei eine Reihe von Charakteristika auf, die ihre Bedeutung für das staatliche bzw. kommunale Gemeinwesen unterstreichen und sich über die vergangenen Jahrzehnte in entsprechenden Leitbildern und Gestaltungsprinzipien niedergeschlagen haben.

1.1 Infrastrukturen als sozio-technische Systeme – Begriffsverständnis und Relevanz für gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung⁸

Infrastrukturen wird eine grundlegende Bedeutung für gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung zugesprochen. In der ökonomischen Literatur wird Infrastruktur als Voraussetzung für Wirtschaft und Gesellschaft beschrieben (vgl. auch die Übersicht von Frey 2005). So definiert Jochimsen in

7 So zum Beispiel in einer Definition des Committee on Measuring and Improving Infrastructure Performing des U.S. National Research Council als „facilities and their operations and the operating and management institutions that provide water, remove waste, facilitate movement of people and goods, and otherwise serve and support other economic and social activity or protect environmental quality“ (NRC 1995: 121).

8 Die nachfolgenden Ausführungen basieren teilweise auf: Libbe, Jens (2015a): Transformation städtischer Infrastruktur. Perspektiven und Elemente eines kommunalen Transformationsmanagements am Beispiel Energie, Leipzig (http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/17484/Diss_libbe_final_M%C3%A4rz2014_Verleihungsabschluss.pdf).

seinem inzwischen als Klassiker geltenden Werk zur Theorie der Infrastruktur ein Infrastruktursystem als „die Gesamtheit der materiellen, institutionellen und personalen Anlagen, Einrichtungen und Gegebenheiten, die den Wirtschaftseinheiten im Rahmen einer arbeitsteiligen Wirtschaft zur Verfügung stehen“ (Jochimsen 1966: 145). Er bezieht damit technische und nicht technische Komponenten, die ökonomischen Akteure (Einzelpersonen, Haushalte, Institutionen, Kommunen, Staat) samt ihren Wechselwirkungen sowie die äußeren Rahmenbedingungen in die Definition von volkswirtschaftlicher Infrastruktur mit ein. Zu der materiellen Infrastruktur gehören demnach Anlagen, Ausrüstungen und Betriebsmittel der Energieversorgung, der Wasserver- und -entsorgung, der Abfallentsorgung, des Verkehrswesens, der Telekommunikation sowie von Gebäuden und Einrichtungen der öffentlichen Verwaltung, des Erziehungswesens, des Forschungswesens und des Gesundheitswesens. Zur institutionellen Infrastruktur gehören Normen, Verfahrensweisen und Einrichtungen der Verfassung, des Finanzwesens, der Rechtsordnung und des Wirtschaftssystems. Zur personellen Infrastruktur wiederum gehören die Zahl und die Qualifikation der in den Infrastruktureinrichtungen tätigen Arbeitskräfte. Andere Quellen betonen den grundlegenden Charakter der Infrastruktur für wirtschaftliche Aktivitäten (als Input für wirtschaftliche Prozesse, vgl. Smith 1997) und noch weitergehend auch für andere gesellschaftliche Aktivitäten in einem Land, einer Region oder einem Gebiet (vgl. Nijkamp 1986), womit gleichzeitig die räumliche Zuordnung einer Infrastruktur betont wird.

Infrastruktur ist einerseits eine Voraussetzung für Wirtschaft und Gesellschaft und wirkt somit auf diese ein, auf der anderen Seite wird sie aufgrund von Entscheidungen in Wirtschaft und Gesellschaft geplant, umgesetzt und finanziert. Insofern sind Infrastruktursysteme komplexe sozioökonomische und sozio-technische Systeme mit schwer voneinander abgrenzbaren technischen, wirtschaftlichen und institutionellen Subsystemen. Eine solche Beschreibung von Infrastrukturen findet sich beispielsweise in der Theorie der „Social Construction of Technology – SCOT“ (Pinch / Bijker 1987) oder in dem Konzept der „Large Technological Systems – LTS“ (Hughes 1987), in denen von der Unmöglichkeit einer präzisen Abgrenzung zwischen den verschiedenen Teilsystemen ausgegangen wird. Eine weitere Definition liefert van Laak (2008), wenn er darauf verweist, dass Infrastrukturen ein „bestimmendes Merkmal komplexer, arbeitsteiliger Gesellschaften“ darstellen. Aus der Sicht der Kulturanthropologie interpretiert er Infrastrukturen „als Äquivalente menschlicher Organe: Sie erfüllen vor allem den Zweck, die Interaktion mit und den Zugriff auf Umweltressourcen zu verbessern sowie den Radius menschlicher Sinne zu erweitern. [...] Diese Einrichtungen stellen eine notwendige Voraussetzung komplexer Arbeitsteilung dar, weil sie den Einzelnen von unmittelbaren Subsistenzfragen befreien und damit vielen produktiven und kulturellen Tätigkeiten fast notwendig vorgelagert sind“ (Laak 2008). Die Definition von Laak verweist zum einen auf die Interaktion von Infrastrukturen und der Nutzung von Umweltressourcen und stellt damit implizit den Zusammenhang zwischen Infrastrukturen und der Übernutzung der natürlichen Umwelt her. Die Formulierung erinnert zum anderen an das, was aus einem staatsrechtlichen Kontext heraus als „Daseinsvorsorge“ (vgl. Scheidemann 1991: 8 nach Forsthoff 1938: 6) formuliert wurde.

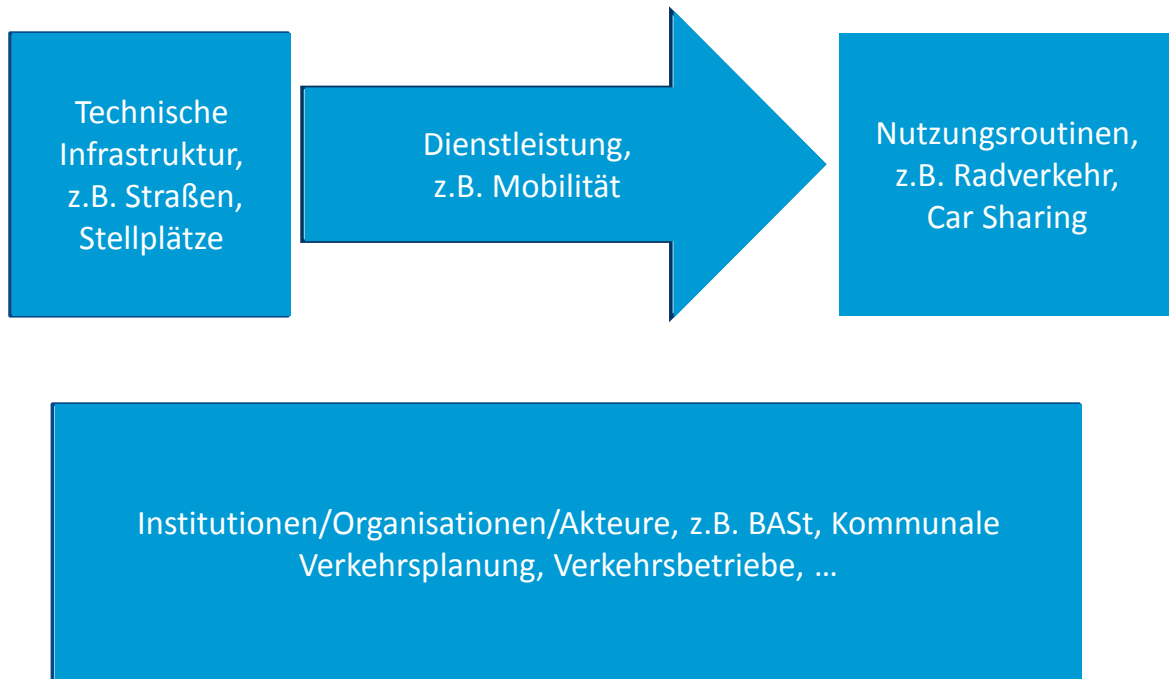
In der vorliegenden Studie wird ebenfalls von einem weiten Verständnis von Infrastrukturen als sozio-technische Systeme ausgegangen. Unter die für diese Studie relevanten *technischen Infrastrukturen* fallen die Ver- und Entsorgungsanlagen der Energieversorgung (Elektrizitätsversorgung, Gas- beziehungsweise Fernwärmeversorgung), der Wasserversorgung, der Entwässerung (Kanalisation und Kläranlagen), der Informations- und Telekommunikationstechnologie (IKT) und Verkehrsanlagen (Straßen, Wege, Plätze, Stellplätze, Nahverkehrssysteme mit Haltestellen).⁹

Es werden im Rahmen dieser Studie gebaute Infrastrukturen (ohne Wohn- und Bürogebäude) mit ihren gesellschaftlichen Funktionen bzw. den über sie erbrachten Dienstleistungen sowie den damit

9 Von den technischen Infrastrukturen abzugrenzen sind die sozialen ebenso wie die erwerbswirtschaftlichen Infrastrukturen.

verbundenen Institutionen, Organisationen, Akteuren und Nutzungsroutinen betrachtet (s. Abb. 1). Da Infrastrukturen eine grundlegende Bedeutung für wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung besitzen und als Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft auch der Sicherung der Daseinsvorsorge dienen, sollten sie zukunftsfähig, d.h. auch unter zukünftigen Bedingungen leistungsfähig sowie nachhaltig, und resilient gegenüber Störungen (wie Wetterextreme) sein.

Abbildung 5: Perspektive auf Infrastrukturen im Projekt KLARIS



Quelle: eigene Darstellung Umweltbundesamt

Die Gesamtheit aller Infrastruktureinrichtungen lässt sich in (trans-)nationale, regionale und urbane, d.h. räumlich stärker begrenzte Systeme unterscheiden. Des Weiteren kann zwischen *Netz- oder Bandinfrastruktur* (bahn- und leitungsgebundene bauliche Anlagen, also im Wesentlichen technische Infrastruktur) und in *Punktinfrastruktur* (zentrale und disperse bauliche Anlagen, also im Wesentlichen soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur) differenziert werden.

- Unter die Netz- beziehungsweise Bandinfrastruktur fallen Versorgungsbänder (Stromleitungen, Gasleitungen, Fernwärmeleitungen, Wasserleitungen, Kanäle, Kommunikationsleitungen, Pipelines) sowie Verkehrsbänder (Straßen, Eisenbahnlinien, Wasserstraßen).
- Unter die Punktinfrastruktur fallen u.a. in technische Anlagen (Umspannwerke, Fernheizwerke, Flughäfen, Bahnhöfe, Kläranlagen).

Schließlich lassen sich drei Gruppen in Bezug auf die stofflichen und kommunikativen Infrastrukturleistungen bilden:

- ▶ Distributive Systeme zeichnen sich durch Leitungsnetze aus, die von einem zentralen Knotenpunkt Verbindungen zu den Nutzern herstellen und letztere von dort mit Infrastrukturdiensten beliefern (z. B. Strom-, Gas, Wasserversorgung).
- ▶ Akkumulative Systeme sind durch eine entgegengesetzte Fließrichtung von den Nutzern zu zentralen Knotenpunkten gekennzeichnet (z. B. Abwasserentsorgung).
- ▶ Kommunikative Systeme sind durch multidirektionale Flüsse gekennzeichnet (z. B. Telekommunikation, Transportsysteme) (Monstadt 2007: 11; in Anlehnung an: Jonsson 2005)¹⁰.

Zur Bereitstellung der genannten Infrastrukturen bedarf es spezifischer institutioneller Regelungen, zu denen Aspekte der staatlichen und damit auch kommunalen Planung, der Regulierung oder auch der Finanzierung beziehungsweise Bereitstellung gehören. Die planerische Verteilung der Infrastrukturen ist dabei vom Typ der Einrichtung (verfügbare Flächen und räumliche Notwendigkeit) und der Nachfrage nach der Leistung abhängig. Das heißt, die Dimensionierung und die Zahl der Anlagen der Punktinfrastruktur hängen ab von der Zahl potenzieller Nutzerinnen und Nutzer (und deren Bedürfnissen), die in einer definierten Umgebung dieser Anlagen leben. Die qualitative und quantitative Ausbildung der Netzinfrastuktur, durch deren Existenz Flächen und Räume nutzbar gemacht werden, ist hingegen nicht nur abhängig von der Zahl und den Ansprüchen der potenziellen Benutzerinnen und Benutzer, sondern auch von der Lage und den Relationen der einzelnen Teilflächen und -räume. Die Gestaltung der Netzinfrastuktur ist Ausdruck der jeweils verfolgten städtebaulichen Prinzipien. Die Kenntnisse über unterschiedliche Typen von Erschließungsnetzen und über deren Bestandteile ist somit Grundlage planerischer Aktivitäten.

1.2 Eigenschaften

Die Beantwortung der Frage nach den Möglichkeiten zur klimaresilienten und zukunftsfähigen Ausgestaltung von Infrastrukturen lässt sich nicht beantworten, ohne auf die Eigenschaften von Infrastrukturen für Wirtschaft und Gesellschaft zu verweisen.

Technische Eigenschaften

- ▶ Die Nutzungs- beziehungsweise Anwendungsmöglichkeiten des mit einer Infrastruktur verbundenen Outputs (Güter oder Dienste) sind vielfältig, so dass von einer Polyvalenz (im Sinne breit gefächelter/mehrfacher Beziehungen) von Infrastrukturen gesprochen wird.
- ▶ Infrastrukturen haben eine lange Planungs- und Lebensdauer, da sie in der Regel für einen jahrzehntelangen Betrieb konzipiert sind. Eine nachträgliche Größenanpassung ist aufwändig und die Kapazität nur in größeren Sprüngen variierbar (Unteilbarkeit).
- ▶ Die Nutzung der Infrastruktur ist standortgebunden, das bedeutet fehlende oder erschwerte Importmöglichkeit (Ortsbezug).

¹⁰ Die technologische Entwicklung und der Ausbau regenerativer, dezentraler Energieerzeugung im Rahmen der Energiewende führen dazu, dass sich die Strominfrastruktur zunehmend von einem „distributiven“, unidirektionalen hin zu einem „kommunikativen“ System bi- und multidirektionaler Stromflüsse entwickelt.

Ökonomische Eigenschaften

- ▶ Infrastrukturen tragen zur Senkung von Transaktionskosten¹¹ bei, indem sie notwendige Vorleistungen, beispielsweise für Tauschprozesse am Markt, liefern (vom Produktionsinput über den institutionellen Rahmen bis hin zum Humankapital).
- ▶ Die in der Regel hohen Fixkosten der Anlagen erfordern die (damit oft verbundene) Produktion großer Outputmengen (Fixkostendegression, allgemeine Subadditivitäten¹²).
- ▶ Da die Fixkosten im Vergleich verschiedener Infrastrukturen sehr unterschiedlich ausfallen, findet die mit der jeweiligen Infrastruktur verbundene Leistungserstellung unter den Bedingungen verschiedener Marktformen statt (natürliche Monopole, Wettbewerb im Markt, Wettbewerb um den Markt).
- ▶ Insbesondere netzgebundene Infrastrukturen wie die Energie-, Wärme- und Wasserversorgung sowie die Abwasserentsorgung weisen Merkmale natürlicher Monopole auf, die dann vorliegen, wenn ein Anbieter die Infrastrukturdienstleistungen zu deutlich niedrigeren, aber kostendeckenden Preisen bereitstellen kann, als dies bei oligopolistischen Strukturen oder gar vollkommener Konkurrenz der Fall wäre. Der Theorie nach lassen sich solche natürlichen Monopole auf Unteilbarkeiten, etwa von Anlagenkapazitäten, zurückführen oder auf die Besonderheit, dass die Produktionskapazitäten sich nur in großen Sprüngen erweitern lassen. Damit verbunden werden Größenvorteile (economies of scale) aufgrund sinkender Grenz- beziehungsweise Durchschnittskosten, Dichteeffekte (economies of density) sowie – aufgrund subadditiver Kostenstrukturen – Verbundeffekte (economies of scope)¹³ erzielt.¹⁴
- ▶ Irreversibilitäten beziehungsweise verlorene Kosten (sunk costs) von Infrastrukturen, die dann entstehen, wenn zur Produktion eines Gutes beziehungsweise einer Leistung spezifisches Kapital eingesetzt werden muss. Einmal entstanden, können diese Kosten nicht (etwa durch Verkauf) rückgängig gemacht werden. Damit bilden diese Kosten eine Markteintrittsbarriere, da es für potenzielle Konkurrenten zu risikoreich ist, parallele Netze und Leitungen zu installieren. Hier wird daher auch von sogenannten nicht angreifbaren natürlichen Monopolen gesprochen. Die Nichtangreifbarkeit kann in aller Regel nicht auf die gesamte Wertschöpfungskette des jeweiligen Versorgungssystems (von der Gewinnung bis zum Vertrieb) bezogen werden, sondern nur auf die Transport- und Verteilungsnetze, also die eigentliche (technische) Infrastruktur.

-
- 11 Die Transaktionskostentheorie bringt zum Ausdruck, dass nicht nur die Produktion, sondern auch die Marktnutzung Kosten verursacht. Ein Leistungs- oder Gütertausch kommt nicht kostenlos zustande, sondern ist mit sogenannten Transaktionskosten verbunden. Transaktionskosten setzen sich zusammen aus: Kosten der Informationsgewinnung, -verarbeitung und -koordination, ebenso Verhandlungs-, Vertrags- sowie Überwachungs- und Durchsetzungskosten.
- 12 Subadditivität meint, dass die Produktionskosten von einem Gut oder von mehreren Gütern am geringsten sind, wenn Größenvorteile ausgeschöpft werden. Die heißt bezogen auf Infrastrukturen, dass es u. U. vorteilhaft ist, wenn es nur einen Anbieter auf dem Markt gibt (sogenanntes „natürliches Monopol“ welches insbesondere Netzen zugewiesen wird).
- 13 Solche Kostenverläufe können allerdings auch umschlagen, das heißt, die Kostenkurve kann auch eine U-Form (erst sinkende, dann steigende Pro-Kopf-Kosten) aufweisen: Bis zu einem Schwellenwert zunehmender Einwohnerdichte sinken die Pro-Kopf-Kosten, danach steigen sie, weil mit zunehmender Dichte Agglomerationskosten entstehen, die über die Fixkostendegression hinausgehen. Diese Situation deutet sich gegenwärtig in einigen räumlichen Lagen von Städten wie Hamburg oder München an, in denen bei ohnehin schon kompakter Bebauung weitere Neubauten geplant sind.
- 14 Technologische Sprünge können diese „natürlichen Monopole“ jedoch infrage stellen, insbesondere dann, wenn diese eine Alternative zur bisherigen Infrastruktur darstellen und damit eine Substitutionskonkurrenz auslösen (etwa die Erfindung des Automobils als Ersatz oder Ergänzung zu Bahnnetzen oder satellitengestützte im Vergleich zur netzgebundenen Kommunikation). Neue Technologien können aber auch neue natürliche Monopole begründen und damit verbundene Marktmacht bedingen. Letzteres hat beispielsweise die ökonomische Erschließung des Internets mit sich gebracht, wo sich in wenigen Jahren (global) dominierende Diensteanbieter herausgebildet haben. Dies zeigt, dass das „natürliche“ des Monopols in seinem jeweiligen zeitlichen Kontext begriffen werden muss und dynamische Veränderungen möglich sind.

- ▶ Viele Infrastrukturen weisen eine geringe Rivalität im Konsum auf, das heißt, die Nutzungsmöglichkeiten werden durch zusätzliche Nutzer kaum eingeschränkt.
- ▶ Netzwerkeffekte hängen von der Ausdehnung von Netzen und damit von der Zahl der angeschlossenen Nutzer ab; das heißt, es ergibt sich ein zusätzlicher Nutzen für alle, wenn ein weiterer Nutzer hinzukommt.
- ▶ Dezentrale Einheiten sind unter Bedingungen hoher Siedlungsdichte häufig wesentlich teurer als zentrale, auch wenn die Leistung gleich ist. Im Umkehrschluss können dezentrale Einheiten bei niedriger Siedlungsdichte günstiger sein.

Ökologische Eigenschaften

- ▶ Die technischen Infrastrukturen der Ver- und Entsorgung vermitteln mit ihren Stoffströmen zwischen natürlicher Umwelt und Gesellschaft. Die natürliche Umwelt dient als Quelle dort, wo es um die Versorgung mit Brennstoffen, Wasser, Wärme oder Windkraft geht, sie fungiert als Senke, wo die menschlichen Siedlungen von Abwasser, Abfall oder Abluft entsorgt werden. Infrastrukturen nehmen dort die Ressource Boden in Anspruch, wo sie Fläche für Anlagen und Netze benötigen (vgl. Tietz 2007).
- ▶ Nicht nur für den Betrieb, auch für den Bau, die Instandhaltung sowie den Rückbau von technischen Infrastrukturen werden erhebliche Ressourcen benötigt.
- ▶ Eine Störung des Betriebs sowie Unfälle bei Bau oder Rückbau kann zu erheblichen Umweltauswirkungen führen.

Gesellschaftliche Eigenschaften

- ▶ Der Wohlfahrtsstaatstyp und die spezifischen Traditionen und politischen Kräfteverhältnisse eines Landes wirken prägend auf die den jeweiligen Infrastrukturen zugewiesenen Eigenschaften. Anknüpfend an die ökonomische Eigenschaft der geringen oder gar nicht vorhandenen Rivalität im Konsum¹⁵ und auch der fehlenden bzw. i.d.R. nicht gewünschten Ausschlussmöglichkeit einzelner Nutzer¹⁶ (Samuelson 1954, Arnold 1992) wird Infrastrukturen die Funktion einer „Kollektivgüterversorgung“ (Gemeinschaftsgüter¹⁷) zugewiesen. Sofern die entsprechenden Güter und Dienste trotz eines vorhandenen öffentlichen beziehungsweise gesellschaftlichen Bedarfs nicht über den Markt erbracht werden (Marktversagen), wird damit eine staatlicher Leistungserstellung erklärt und legitimiert. Das ist der Fall bei den sogenannten reinen öffentlichen Gütern, jedoch auch bei unvollkommenen öffentlichen oder auch meritorischen Gütern (Musgrave 1959).
- ▶ Fehlende Marktpreise können die Finanzierung von Infrastrukturen über Steuern und Gebühren erforderlich machen. Der jeweilige öffentliche Bedarf lässt sich nur durch politische Bestimmungsverfahren ermitteln. Wohlfahrtstheoretische Kriterien können hierbei sein a) äquivalenztheoretische Funktionen (entsprechend der Steuerzahlungsbereitschaft) oder auch b) redistributive Funktionen (Verfügungsrechte werden auch auf Nicht-Steuerzahler ausgeweitet). Politische (Verteilungs-)Ziele und ökonomische (Effizienz-)Ziele sind bei der Finanzierung regelmäßig miteinander verquickt.

15 D.h., der Konsum des einen, steht dem Gebrauch des anderen nicht im Wege

16 D.h., es ist entweder technisch unmöglich oder kostenmäßig unzumutbar, jemanden von der Nutzung dieses Gutes auszuschließen.

17 Die Debatte um Gemeinschaftsgüter als Sammelbegriff für alle Formen kollektiv genutzter Güter und Leistungen hat in jüngerer Zeit in der raumwissenschaftlichen Infrastrukturforschung eine wachsende Bedeutung erfahren. In Bezug auf das Verhältnis von Raum und Energie wird die soziale bzw. politische Konstruktion von Güterarten und damit verbunden die Pluralität von Regelungen und Normen betont; ebenso die raumzeitliche Kontextualisierung von Güterarten (vgl. Bernhardt/Kilper/Moss 2009, Moss/Gudermann/Röhring 2009, Moss u.a. 2013, Gailing u.a. 2013).

2 Herausbildung und Wandel von Infrastrukturen

Die Herausbildung und der Wandel von Infrastrukturen lässt sich letztlich nur in der Beziehung von technischen Systemen und ihrer sozialen Umwelt begreifen. Institutionelle wie ökologische oder auch räumliche Rahmenbedingungen ermöglichen oder begrenzen dabei die Entwicklungsmöglichkeiten. Die Durchsetzung eines spezifischen infrastrukturellen Entwicklungspfades ebenso wie der mögliche Wechsel eines Pfades und damit verbunden die Transformation von Infrastrukturen ist vielfältigen Einflüssen unterworfen. Der Ausbau von Infrastrukturen erfolgt im Kontext übergeordneter gesellschaftlicher Entwicklungen verbunden mit spezifischen Grundprinzipien zur Absicherung von wirtschaftlicher Entwicklung und Sozialstaatlichkeit.

2.1 Historische Entwicklung in den 4 Sektoren

Die nachfolgenden Ausführungen fokussieren auf die Entwicklungsgeschichte von (stadttechnischen) Infrastrukturen während der letzten 150 Jahre in Mitteleuropa und insbesondere in Deutschland¹⁸. Dies mit dem Ziel, zunächst einmal die Gründe und prägenden Einflüsse für die Infrastrukturen, wie wir sie heute kennen, zu identifizieren. Maßgeblich war in vielen Bereichen die industrielle Revolution in Verbindung mit starker Urbanisierung und damit verbundenen Herausforderungen, die einen prägenden Einfluss auf die Systeme gehabt haben. Die Energiebasis der europäischen Gesellschaften wandelte sich grundlegend von den erneuerbaren zu den fossilen Energien, womit sich zugleich Transport als auch die Informationsstrukturen umfassend veränderten (Sieferle 2010, Osterhammel 2009, Meyerhoff/Petschow 1995). Damit einher ging in allen Bereichen eine Wandlung zu größeren und zugleich zunehmend vernetzten Strukturen.

Gleichwohl sind Weiterentwicklungen des eingeschlagenen Entwicklungspfades erfolgt.¹⁹ Die Elektrifizierung war dabei eine Voraussetzung für das Funktionieren technische Systeme auch in anderen Bereichen. Die Digitalisierung von Information und Kommunikation führt heute zu erkennbaren Sprüngen der Entwicklung und führt letztlich zu einer neuen Qualität der Interaktion zwischen den Infrastrukturen.

Beispiel Stromversorgung

Die Elektrifizierung der Städte setzte im Verlauf der 1880er Jahre ein (vgl. Schott 2006, Schott 2014). Sie folgte der Gasversorgung, die bereits einige Jahrzehnte zuvor Einzug gehalten und es erstmals ermöglicht hatte, öffentliche und private Räume weit besser zu beleuchten, als dies zuvor mit Fackeln,

18 Die Geschichte der heute existierenden (stadttechnischen) Infrastrukturen ist zuallererst eine Geschichte der europäischen und nordamerikanischen Städte. Dabei darf allerdings nicht vergessen werden, dass es sowohl in anderen Kulturkreisen als auch in der europäischen Antike zahlreiche historische Belege für funktionierende Ver- und Entsorgungssysteme gibt.

19 Die grundsätzliche Entwicklungsrichtung mit Blick auf den zunehmenden Ressourcenverbrauch hat sich nur begrenzt verändert, gleichwohl sind Veränderungsprozesse beispielsweise im Kontext der Entwicklung des Energiesystems festzustellen. Die industrielle Revolution basierte u.a. auf der Veränderung der energetischen Ressourcenbasis, nämlich den Übergang zur Nutzung der fossilen Energieträger (zunächst im Wesentlichen Kohle). Bis heute sind verschiedene Veränderungen der Energieträgernutzung festzustellen, die jeweils spezifische wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungsprozesse bewirkten: Elektrifizierung und Möglichkeiten der Dezentralisierung sowie die Relevanz für Haushalte und Konsum, der Bedeutungszuwachs von Öl als Energieträger und das Aufkommen der Automobilität und der Veränderung der Siedlungsstrukturen. In dem Sinne weisen Fouquet und Pearson (2012) darauf hin, dass Transitionen im Energiebereich sowohl angebots- als auch nachfrageseitig ermöglicht werden können. Des Weiteren arbeiten sie auch heraus, dass „during past energy transitions, there were clear private benefits both for producers and for the consumers in switching to new energy sources and technologies, whereas these private benefits are as yet less obvious for low carbon energy sources and technologies (Fouquet / Pearson 2012: 4).

Kerzen, Öllampen oder ähnlichem möglich gewesen war (London 1807, Berlin 1826)²⁰. Allerdings hatte die Gasversorgung auch Nachteile, da die Erzeugung des sogenannten Stadtgases mit erheblichen Umwelt- und Gesundheitsbelastungen sowie mit Explosions- und Brandgefahr verbunden war. Hier stellte die Versorgung mit Elektrizität²¹ eine Alternative dar. Anfangs konkurrierten dabei verschiedene Energietechnologien. Zunächst stand nur Gleichstrom über Blockstationen zur Verfügung. Insbesondere Industriebetriebe begannen, ihren Strombedarf über eigene Versorgungssysteme zu organisieren. Für eine flächendeckende Versorgung war dies unzureichend, zumal Gleichstrom aufgrund seiner hohen Leitungsverluste relativ unattraktiv war (es hätte quasi in jedem Stadtteil ein kleines Kraftwerk errichtet werden müssen). Nachdem es gelang, größere Kraftwerke zu bauen, mit denen die Städte auch über längere Distanzen versorgt werden konnten, setzte sich das System des Wechselstroms durch und die Elektrifizierung der Städte schritt rasch voran (Wien 1899, Hamburg 1893, Paris 1889, London 1887, Berlin 1884, Dresden 1897).

Beispiel Wärmeversorgung

Die erste öffentliche Fernwärmeversorgung wurde 1886 in Lockport (USA) in Betrieb genommen. Im Verlauf der 1870er Jahre begann auch die Entwicklung der ersten größeren Fernheizungen zur Eigenversorgung in Deutschland (u. a. Hamburg und Dresden). Nach Ende des Ersten Weltkrieges kam es in den 1920er Jahren zu einer sprunghaften Entwicklung der Städteheizung, wofür nicht zuletzt der Mangel an Brennstoffen infolge der französischen Besatzung des Ruhrgebiets ausschlaggebend war. Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklung des Strom- und Wärmebedarfs wurden Ende der 1920er Jahre verstärkt Wärmespeicher gebaut. Kraft-Wärme-Kopplung fand wenige Jahre später eine weitere Begründung, denn die mit ihr verbundene relative Dezentralität der Versorgung sollte Versorgungssicherheit gewährleisten und eine geringe Anfälligkeit im Kriegsfall garantieren. Einen weiteren Aufschwung erhielt die Fernwärme in den 1970er Jahren infolge stark steigender Ölpreise. Die verstärkte Nutzung der heimischen Primärenergieträger Stein- und Braunkohle war die Folge.

Beispiel Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

Ähnlich wie bei der Wärmeversorgung erhielten die technischen Einrichtungen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung im Verlauf in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine ganz neue Qualität, die sich von vorhandenen Anlagen, wie zum Beispiel Hausbrunnen oder Abzugsgräben deutlich abhob.

Wichtige Impulse erwuchsen aus dem Entstehen einer öffentlichen Gesundheitsfürsorge sowie aus den Erkenntnissen über die Prävention von Krankheiten. Im Zuge der so genannten von England kommenden Hygienebewegung (sanitary movement) wurde der Versorgung mit unschädlichem Trinkwasser sowie der Beseitigung von Unrat und Abwässern in den Städten große Bedeutung zugemessen (vgl. Lenger 2013: 162–167, Osterhammel 2011: 261, Schott 2006, Glasauer/Arndt 1994: 23f). 1842 wurde in New York erstmals ein System von Aquädukten, Röhren und Speichern zur Versorgung von öffentlichen Brunnen, Haushalten und der Feuerwehr eingeweiht. In Deutschland waren es nicht zuletzt große Brandkatastrophen (z. B. Hamburg 1842), die die Notwendigkeit einer zentralen Wasserversorgung offenbarten (vgl. Kluge/Schramm 2010). Bald begann in zahlreichen europäischen Großstädten der Bau von Wasserversorgungssystemen (Hamburg 1848, Paris 1853, London 1852, Berlin 1853, Dresden 1875).

20 Bereits dies war damals eine Revolution, die maßgeblich dazu beitrug, urbanes Nachtleben zu ermöglichen (vgl. Hasenöhl 2015).

21 Strom und Elektrizität sind zwei synonym verwendete Begriffe. Die Stromversorgung (resp. Elektrizitätsversorgung) umfasst die „Gesamtheit aller Vorkehrungen und Einrichtungen, einschließlich ihres Ressourcenverbrauches, zur Versorgung eines Gebietes, eines Landes, einer Region mit der Endenergie Strom“ (vgl. Tietz 2007: 43).

Mit der zunehmenden Verbreitung einer leitungsgebundenen Wasserversorgung wurde auch die Notwendigkeit einer Abwasserentsorgung offensichtlich, da die Ableitung der steigenden Abwassermengen über Rinnsteine, Gräben oder unbefestigte Straßen zu Unannehmlichkeiten und auch zu hygienischen Problemen führte. In Mitteleuropa setzte sich die Idee einer Schwemmkanalisation in Form eines Mischsystems, in dem gleichermaßen häusliche Abwässer, Fabrikabwässer und Regenwasser transportiert werden, im Laufe der Jahre durch (Hamburg 1843, Paris 1850, London 1857, Berlin 1877 und Dresden 1890). Allerdings bedeutete dies noch nicht, dass damit das Abwasser auch geklärt wurde. Entweder wurde es direkt in die Flüsse eingeleitet oder im Umfeld der Städte (etwa in Berlin) auf sogenannten Rieselfeldern versickert. Die wachsenden Belastungen der Flüsse führten dazu, dass flussabwärts gelegene Anrainer zunehmend Probleme hatten, den Flüssen Wasser in ausreichender Güte zu entnehmen. Infolge dieser Entwicklung setzten sich erste, zunächst noch sehr einfache Kläranlagen durch. Als 1892 aufgrund von verschmutztem Trinkwasser in Hamburg eine Choleraepidemie mit zahlreichen Toten ausbrach, lieferte das den Beweis, dass es einer Aufbereitung des Flusswassers bedarf, bevor dieses als Trinkwasser genutzt werden kann. Insbesondere das Abwasser aus der Industrie und aus Kokereien, etwa im Ruhrgebiet, warf weiterhin Probleme auf, und erst 1960 wurde das Wasserhaushaltsgesetz verabschiedet, in dessen Folge Abwasserbehandlungsanlagen der Siedlungswasserwirtschaft sukzessive ausgebaut wurden und Abwasser nicht nur einer mechanischen, sondern auch einer biologischen und chemischen Behandlung unterzogen wurde. So wurde eine „End of the Pipe“-Technologie realisiert, die jederzeit erweiterbar war und den Endpunkt des „Durchflussreaktors“ (Kluge/Schramm 2010: 35) Stadt bildete.

Beispiel ÖPNV – Straßenbahnen

Das Bevölkerungswachstum und die zunehmende Industrialisierung der Städte führte zum Ende des 19. bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts zu einem starken Ansteigen des Beförderungsbedarfes im Berufsverkehr. Damals war nur der ÖPNV in der Lage diesen Bedarf zu befriedigen. Eine Massen-Pkw-Motorisierung gab es noch nicht. Hierin liegt die Ursache für den starken Ausbau von ÖPNV-Systemen in dieser Zeit und die Orientierung der Stadterweiterungen an den ÖPNV-Achsen. Durch die Elektrifizierung des Systems Straßenbahn kam es zu einer rasanten Erweiterung der Netze. In Berlin wuchs bspw. das Straßenbahnnetz von 1919 bis 1929 um 550 km (vgl. Bauer 1987). Die Zeit von 1950 bis in die 1980er Jahre war eine Periode der Stagnation und der Streckenstilllegungen bei der Straßenbahn. Durch die Massenmotorisierung sowie der billigen und scheinbar flexibleren intramodalen Konkurrenz Bus geriet das urbane Schienenverkehrsmittel ins Aus. Mit der Zunahme von Umweltproblemen in der Stadt und dem Aufkommen der Klimadiskussion wurden wieder umweltschonende Verkehrsmittel präferiert. Die Straßenbahn wurde außerdem technisch weiter entwickelt, so dass sie sich besser den Verhältnissen in modernen Städten anpasst. So wurde seit 1980er eine Renaissance der Straßenbahn eingeläutet.

Beispiel IKT

Mit der Erfindung und technischen Verbesserung der elektrischen Telegrafie zu Beginn des 19. Jahrhunderts eröffneten sich neue Möglichkeiten der schnellen Kommunikation. 1849 wurde die erste öffentliche elektrische Telegrafienlinie zwischen Berlin und Frankfurt am Main eröffnet. Mit der elektrischen Telegrafie entwickelt sich ein schnelles weltweites Kommunikationsnetz. 1858 verbindet erstmals ein Unterseekabel Europa und Amerika. Mit dem Telefon, das in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erfunden wurde, wurde die synchrone Sprachkommunikation möglich. In den 1880er Jahren wurden die ersten öffentlichen Telefonnetze aufgebaut (z. B. in Berlin). Wenngleich private Telefonanschlüsse lange die Ausnahme blieben, wuchsen die noch handvermittelten Netze schnell. Die Erfindung des Hebdrehwählers Ende des 19. Jahrhunderts ermöglichte die Automatisierung der Gesprächsvermittlung und erleichterte damit den Ausbau der Netze. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden die ersten Telefonzellen aufgestellt (die erste Telefonzelle in Deutschland in Wup-

pertal). Telefonieren wurde damit einem größeren Kreis von Nutzern zugänglich. Im Jahr 1930 gab es in Deutschland rund 3,2 Millionen Telefonanschlüsse. Während das Telefonnetz in den 1930er Jahren weiter ausgebaut wurde, spielt die private Telefonkommunikation in den Kriegsjahren kaum noch eine Rolle.

Nach dem Wiederaufbau der zerstörten Infrastruktur in der unmittelbaren Nachkriegszeit schritt in den 1950er Jahren die Automatisierung des Telefonnetzes und der Ausbau für den Selbstwählferndienst voran, was die Telefonkommunikation über Ortsnetzgrenzen hinweg erheblich erleichterte. Ende der 1950er Jahre nahm das erste Mobilfunknetz in Deutschland (A-Netz) den Betrieb auf, zu Beginn der 1970er Jahre ein technisch verbessertes (B-) Netz. Mit der Einführung des C-Netzes Mitte der 1980er Jahre stieg die Zahl der Nutzer erheblich. Musste man im A- und B-Netz noch den Ort kennen, an dem der Telefonierende sich aufhielt, um die passende Vorwahl zu wählen, erlaubt die zellulare Technologie des C-Netzes die Kommunikation unabhängig vom Aufenthaltsort in Westdeutschland.

Ende der 1980er Jahre begann die Digitalisierung des Telefonfestnetzes in Westdeutschland. Zu Beginn der 1990er Jahre wurden die auf einem neuen Standard (GSM) basierenden D-Netze des Mobilfunks aufgebaut. Mobiltelefonie wurde damit nicht nur technisch verbessert und fand deutlich stärkere Verbreitung, private Anbieter fanden damit erstmals Zugang zum Telekommunikationsmarkt. Vorausgegangen waren umfassende Diskussionen zur Liberalisierung des Telekommunikationsmarktes in Europa.

Anfang der 1990er Jahre wurde die globale Telekommunikation durch die Verlegung des ersten transatlantischen Glasfaserkabels verbessert. Auf lokaler Ebene wurde die Digitalisierung der Anschlüsse von Privatkunden (DSL) vorangetrieben, über die Sprache und Daten gleichzeitig übermittelt werden können. Anfang des neuen Jahrtausends startete eine neue Mobilfunkgeneration (UMTS), 2011 die neueste Mobilfunkgeneration (LTE). Neben der größeren flächenmäßigen Verbreitung sind damit erhebliche Steigerungen der Bandbreite verbunden. Mit der trotz aller Unterschiede in der Netzabdeckung zunehmend flächenhaften Verbreitung der digitalen Breitbandnetze und der Mobilkommunikation in Deutschland, werden andere Teile der Telekommunikationsinfrastruktur zurückgebaut: 2006 gab es noch 110.000 Telefonzellen der Telekom, 2015 sind es nur noch 35.000. Durch die Digitalisierung des Rundfunks werden sukzessive Frequenzbänder frei, die in Deutschland besonders für die Internet-Breitbandanbindung des ländlichen Raumes genutzt werden sollen.

2.2 Lebenszyklus von Infrastrukturen

Die Entwicklung und die Rolle von Infrastrukturen für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung ist vor allem im Kontext der Wirtschaftsgeschichte analysiert worden. Ebenso sind im Kontext der Diskussion der großen technischen Systeme (vgl. Hughes 1987), analytische Zugänge entwickelt worden, die im Wesentlichen im soziologischen und raumwissenschaftlichen Diskurs eine Rolle gespielt haben bzw. noch spielen.²²

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Forschung zur Entstehung und den Entwicklungsdynamiken von Infrastrukturen und Infrastruktursystemen dargestellt. Danach erfolgt eine Zusammenschau der Transitionen des Energiesystems (bzw. der Energiesysteme) verbunden mit einem skizzenhaften Vergleich mit den aktuellen Transformationsbemühungen bzw. den Unterschieden der aktuellen Transformationsrichtung.

22 Die Literatur zur Entwicklung und den Entwicklungsdynamiken von Infrastrukturen ist breit (vgl. z. B. Kaijser 2001 sowie darauf Bezug nehmend für Strom und Wasser Monstadt/Naumann 2004 und Hiessl u.a. 2002, ferner Mayntz 1988 und 1995). Die Zusammenfassung von Edwards et al. (2007) ist insofern prägnant, als sie vor dem Hintergrund künftiger Infrastrukturentwicklungsnotwendigkeiten versucht, die Erfahrungen der Infrastrukturentwicklung mit Blick auf künftige Bedarfe zusammenzuführen. Ein Anliegen, was auch diese Expertise verfolgt.

Edwards et al. (2007) aber auch Bolton und Foxon (2014)²³ fassen die Literatur zur Entwicklungsdynamik der Infrastrukturentwicklung zusammen, wobei sie auf ein mehr oder weniger geteiltes und akzeptiertes Wissen zurückgreifen. Die Entwicklung der (klassischen) Infrastrukturen lässt sich demnach in mehrere Phasen unterteilen, die nachfolgend kurz skizziert werden sollen:

Phase der Systembildung

Lokale Systeme bilden sich dezentral heraus (bspw. Eisenbahn, Energie). Es kommt zur Herausbildung von Netzwerken: "True infrastructures only begin to form when locally constructed, centrally controlled systems are linked into networks and internetworks governed by distributed control and coordination processes" (Edwards et al. 2007 : 7). Die Herausbildung von solchen Systemen wird häufig durch radikale technische Innovationen ausgelöst, der zumeist eine längere Phase des Suchens vorausgeht. Dabei werden unter Umständen bestehende Infrastrukturen unter Druck gesetzt, mit der Folge, dass nicht nur vorhandene Technologien verdrängt werden sondern auch die Kompetenzen einzelner Akteure des alten regulatorischen Systems nicht mehr benötigt bzw. unter Druck gesetzt werden. Die im neuen Regime benötigten Kompetenzen werden durch neue Akteure bereitgestellt. Dieser Übergang ist durch Auseinandersetzungen und Machtkämpfe um neue Strukturen und institutionelle Arrangements gekennzeichnet. Bestehende Leitbilder beziehungsweise -orientierungen, Regeln, Normen und Routinen werden in Frage gestellt.

Phase des Technologietransfers

Die Technologie (Infrastruktur) wird von einem Ort oder Bereich zu anderen Orten bzw. Bereichen transferiert; das System passt sich an neue Bedingungen an (u.a. neue rechtliche, technische, soziale finanzielle Anpassungen) bzw. wird angepasst. Ein Größenwachstum und die Herausbildung wettbewerblicher Systeme werden dabei angestoßen. Die Rolle und Bedeutung von Nutzern und Nutzergemeinschaften bei der Gestaltung des Systems nimmt zu.

Phase der Konsolidierung

Infrastrukturen konsolidieren sich durch „gateways“ im Sinne von Zugängen zu und zwischen Infrastrukturen, sodass heterogene Systeme in Netzwerke miteinander verbunden werden können (herausragende Bedeutung von Technologien und Standards). Der Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Systemen vermindert sich bzw. löst sich auf. In der Folge können sich Pfadabhängigkeiten herausbilden.

Genau genommen ist eine weitere Phase hinzuzuzählen, will man nicht der Annahme unterliegen, ein einmal etabliertes Infrastruktursystem wird sich dauerhaft stabilisieren (vgl. Libbe 2015a):

Phase der Stagnation/Erneuerung

Die Infrastrukturen können ihre Leistungsüberlegenheit unter veränderten Rahmenbedingungen nicht mehr ausspielen oder offenbaren spezifische Mängel. Ehemals positive Skalenökonomien schwächen sich ab. Es kommt zu negativen Effekten („Diseconomies of Scale“) infolge von Sättigungstendenzen und sinkender Nachfrage, was Anlass für eine grundlegende Erneuerung sein kann. Neue Technologien bzw. technologische Innovationen können dabei entscheidend sein, entweder das bestehende Infrastruktursystem veränderten Anforderungen gegenüber anzupassen oder sogar radikal in dem Sinne zu transformieren, dass eine neue Infrastruktur an die Stelle oder ergänzend an die Seite des vorhandenen Systems tritt und neue Nutzungsmöglichkeiten bereit stellt.

23 Ziel dieser Studie war es, ein Verständnis für die Entwicklungsdynamiken zu erhalten, um darauf aufbauend die Orientierungen für den Aufbau einer Cyberinfrastruktur abzuleiten.

2.3 Infrastrukturen und dahinterliegende Weltbilder in Hinblick auf Technologie und Gesellschaft

Die Relevanz und die Ausgestaltung von Infrastrukturen waren immer eng mit den gesellschaftlichen Strukturen und –dynamiken verbunden. So waren bspw. Verkehrsinfrastrukturen zunächst geprägt durch einerseits machtpolitische und andererseits handelspolitische Kalküle, die vielfach eng miteinander verknüpft waren.²⁴

Die Bedeutung der Infrastrukturen für die wirtschaftliche Entwicklung hat im 19. Jahrhundert im Zuge der sogenannten industriellen Revolution einen deutlichen Zuwachs erhalten. Die Energiebasis der europäischen Gesellschaften wandelte sich grundlegend von den erneuerbaren zu den fossilen Energien, womit sich zugleich Transport als auch die Informationsstrukturen umfassend veränderten (Sieferle 2010, Osterhammel 2009, Meyerhoff/Petschow 1995). Damit einher ging in allen Bereichen eine Wandlung zu größeren und zugleich zunehmend vernetzten Strukturen. Dies zeigt sich exemplarisch mit Blick auf die Verkehrsinfrastrukturen (insbesondere der Bahn), wo der Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Regionen mit Blick auf eine Vorreiterrolle bei der Etablierung einer (regionalen) Bahnverbindung hoch war und insofern die technischen Innovationen regional aufgegriffen wurden (mit sehr unterschiedlichen Organisationsformen). Ein „großer Plan“ in Hinblick auf die Entwicklung der Verkehrsinfrastrukturen existierte jedoch nicht.²⁵ Sieferle (2010: 22) verweist dabei insbesondere auch auf die Koinzidenz von wissenschaftlicher und industrieller Revolution, die sich u.a. auch in der wissenschaftlichen Methode (Messung, kontrollierte Instrumente) ausdrückte, wobei diese nach Sieferle auf dem Weltbild „Natur als „Schöpfung““ verbunden mit der Vorstellung von „Ordnung, Rationalität und Vorhersagbarkeit natürlicher Phänomene“ beruhte. Des Weiteren verweist er auch das in dieser Zeit des Aufbruchs der industriellen Revolution gemeinsame Weltbild (scientific culture) von Ingenieuren und Unternehmern.

Die vielfältigen, ineinandergreifenden Innovationen, die eng mit der industriellen Revolution in Verbindung stehen (fossile Energien und Energieerzeugung, Chemische Industrie und deren Auswirkungen auf die Entwicklung synthetischer Stoffe und später dem Einfluss auf die Landwirtschaft) führten zum sogenannten fordistischen Modell der Entwicklung²⁶, welches im Wesentlichen getrieben war durch die Erschließung der „economies of scale“, also der Größenvorteile und der damit verbundenen Konzentrationsprozesse. Eine zentrale Veränderung, die wiederum heute eine zentrale Herausforderung für die Zukunftsfähigkeit von Infrastrukturen darstellt, war die Umstellung der Energiebasis von der Nutzung von Erneuerbaren auf die Nutzung von Nicht-Erneuerbaren Energien und damit verbunden auch die Überwindungen der Begrenzungen der (damaligen) Erneuerbaren Energien. Hellige (2012) hat darauf verwiesen, dass in diesem Zusammenhang auch eine Veränderung der Sichtweisen auf Energie stattgefunden hat – weg von einer Orientierung des sparsamen Umgangs mit Energie (Strom und Wärme) hin zu einer nicht-integrierten Betrachtungsweise, also der Fokussierung auf die Bereitstellung von Strom unter Vernachlässigung der Nutzung der gekoppelten Produktion von Wärme (vgl. auch Kapitel 2.5). Insofern waren die Entwicklungsvorstellungen von Industrie und Wirtschaft in Richtung von Wachstum und Konzentration eng verbunden mit Entwicklungsvorstellungen für die Infrastrukturen (Pfadgestaltung in Richtung von Großstrukturen und unbegrenzten Ressourcen). Vor dem Hintergrund solch übergreifender Weltbilder bezüglich industrieller und energiewirtschaftlicher Entwicklung haben sich entsprechende technologische, ökonomische und politische Kons-

24 Ebenso spielte der Wissenstransfer eine wichtige Rolle, der eng mit der Entwicklung der Verkehrswege verbunden war.

25 Auch wenn Friedrich List entsprechende Planungen entworfen hat, so haben diese zu seiner Zeit keine Leitbildfunktion inne gehabt.

26 Fordismus bezieht sich auf die Form der Massenproduktion, wie sie für den Automobilbau von Ford („tin lizzy“) entwickelt wurde und die Vorbild für eine auf Massenkonsum orientierte Entwicklung in der Folge war. Ermöglicht eben auch durch die Infrastrukturen (Verkehr: Autobahnbau).

tellationen und damit auch entsprechende sozio-technischen Regime herausgebildet. Die Herausbildung der jeweiligen sozio-technischen Regime stellte in diesem Kontext keine unbedingte Zwangsläufigkeit dar. Vielmehr sind sie selbst wiederum das Ergebnis von umfassenden Aushandlungsprozessen und Diskursen.

Wie sich die sozio-technischen Regimes mit Blick auf einzelne Handlungsfelder bzw. Infrastrukturbereiche entwickeln, ist allerdings stark kontingent und zeigt sich letztlich erst vor dem Hintergrund konkurrierender Entwicklungsvorstellungen, technischer Optionen und Machtstrukturen.

Die große Transformation (WBGU 2011) mit dem Ziel des Erreichens eines nachhaltigen Entwicklungspfad erfordert auch eine Veränderung der gesellschaftlichen Welt- und Leitbilder. Besonders deutlich wird dies am Beispiel der Energiebereitstellung. Es zeigt sich eine Abkehr von der Vorstellung des Überflusses, welche ein wichtiges Leitbild für die Forcierung des Entwicklungspfad der Kernkraftwerke („too cheap to meter“) darstellte, hin zu Leitbildern, die die Begrenzungen der Quellen und Senken in den Fokus nehmen („wahre Preise“). Die Energiewende selbst ist verknüpft mit wiederum differenzierten technischen Leitvorstellungen. Hellige verweist darauf, dass die existierenden Leitbilder in der technologischen Entwicklung sehr konkret in die jeweiligen Entwicklungsprozesse eingebettet sind. Leitbilder manifestieren sich als „Bündel technischer Kriterien, soziotechnischer Zielsetzungen, kultureller Bedeutungszuweisungen, organisatorischer Strukturbedingungen und gesellschaftlicher Nutzungs- bzw. Wirkungserwartungen“ (Hellige 1996).

Der Übergang zu einem postfossilen Energiesystem bedeutet auch, dass die bestehenden Regimes mit ihren Leitbildern, technischen Kriterien und soziotechnischen Zielsetzungen herausgefordert werden. Ebenso werden bisherige Geschäftsmodelle und Investitionen in Frage gestellt. Konflikte werden dabei letztlich unausweichlich auftreten, wie es sich prototypisch im Kontext der Energiewende zeigt. Neue Leitbilder der gesellschaftlichen Entwicklung (unter Anerkennung „planetarer Grenzen“), wenn sie gesellschaftlich handlungsleitend werden, bedeuten zugleich, dass sich die sozio-technischen Strukturen generell und speziell mit Blick auf die Infrastrukturen wandeln.

2.4 Pfadabhängigkeiten und Pfadwechsel sozio-technischer Systeme

Sozio-technische Systeme besitzen eine enorme Beharrungskraft, die sich aus der Historizität von technisch-wirtschaftlichen Entwicklungen und damit verbunden institutionellen Konfigurationen erklärt (vgl. Libbe 2015a). Anders formuliert: Etablierte Infrastrukturen sind in der Regel nur schwer zu verändern, d.h. die Auswahl, die zu Beginn getroffen wird, ist höchst relevant für die weitere Entwicklung. Ursächlich hierfür sind die hohen Startkosten, die aufzuwenden sind, um einen bestimmten Pfad einschlagen zu können.

Solche Pfadabhängigkeiten sind für unsere Infrastrukturen kennzeichnend, wobei ökonomische Effekte infolge von Größenvorteilen, Dichteeffekten oder auch Verbundeffekten als determinierende Faktoren hinzukommen (vgl. Kapitel 1.2). Pfadwechsel sind aufgrund von Verriegelungseffekten („lock-in“ Effekte) zusätzlich erschwert, da Anlagenhersteller, Infrastrukturbetreiber, wie auch die Nutzerinnen und Nutzer den Umgang der Infrastruktur formalisiert und habitualisiert haben. Sie besitzen daher wenig Bereitschaft, auf einen anderen Standard zu setzen. Verstärkt wird diese Entwicklung durch adaptive Erwartungen der Verbraucherinnen und Verbraucher, wonach erreichte Standards Bestand haben werden. Hier zeigt sich, dass Infrastrukturen eine prägende Wirkung auf Alltagsroutinen haben (Laak 2008) und zugleich eben durch kulturelles und habitualisiertes Handeln stabilisiert werden. Zugleich wird es mit steigender Ausbreitung der Technik attraktiver, komplementäre oder kompatible Produkte herzustellen, also bestimmte technische Elemente für den Betrieb der Technologie.

2.5 Bedeutsame wissenschaftlich-technische und/oder sozio-ökonomische Entwicklungen, die in der Vergangenheit und Gegenwart zu Pfadwechseln geführt haben

Infrastrukturen erreichen dann das Ende ihres Lebenszyklus und ein Pfadwechsel ist dann möglich, wenn ein kritischer Zeitpunkt eintritt, ausgelöst etwa durch ein Ereignis außerhalb des Pfades oder durch massive Restriktionen der Akteure auf dem Pfad. Ein Pfad kann ebenso enden, wenn technische Alternativen vorhanden sind, die einen absoluten Vorteil gegenüber dem bestehenden Standard aufweisen und dadurch massiven Wettbewerbsdruck auslösen. Das Gleiche gilt, wenn der erwartete Vorteil eines Pfadwechsels groß ist, die Transaktionskosten des Übergangs vertretbar erscheinen und sich im Hinblick auf die vorhandene Infrastruktur negative adaptive Erwartungen oder auch negative Skaleneffekte einstellen welche die selbstverstärkende Wirkung eines eingeschlagenen Pfades aufheben (vgl. Beyer 2006: 27-31). Dies betrifft auch die mit einem Pfad verbundenen Institutionen, wenn diese zunehmend in Widerspruch zu ihrem Zweck geraten, gesellschaftlichen Leitvorstellungen nicht mehr entsprechen können, Einfluss verlieren oder durch gezieltes Akteurshandeln konterkariert werden (vgl. Beyer 2005). Letzteres verweist darauf, dass es durch absichtsvolles Handeln von Akteuren auch zur Kreation eines neuen Pfades kommen kann (vgl. Garud/Karloe 2001). Pfadabhängigkeit ist insofern nur vom Eintritt eines Verriegelungseffektes (lock in) bis zu einem Zeitpunkt sich auflösender Verriegelung gegeben (un lock). Anders formuliert: Ein Pfad kann durchaus verlassen oder aufgelöst werden und die Entstehung eines neuen Pfades ist möglich.

Es lassen sich aus der Geschichte und Gegenwart der infrastrukturellen Entwicklung verschiedene (erfolgte und möglicher Weise erfolgende) Pfadwechsel identifizieren. Dabei wird deutlich, dass für den Pfadwechsel zumeist mehrere Ursachen zugleich bzw. in ihrer sich wechselseitig verstärkenden Wirkung ausschlaggebend sind:

Beispiel Energie

Der Energiesektor ist geradezu ein Paradebeispiel sowohl für das Entstehen von Pfadabhängigkeiten als auch für vollzogene Pfadwechsel. So gab es in der Vergangenheit bereits unterschiedliche, den jeweiligen Pfad determinierende Leitbilder. Zunächst das dezentrale Versorgungsmodell, das in klein dimensionierten Systemen eine mengenorientierte Skalenökonomie und nach Möglichkeit eine lokale bzw. regionale Kopplung von Energieprozessen mit dem Ziel eines hohen Gesamtwirkungsgrades anstrebte und später das jahrzehntelang vorherrschende zentralistische großwirtschaftliche Konzept, dessen skalenökonomische Strategie auf Aggregatgrößensteigerungen und Großraumvernetzung setzt, die in energetisch weitgehend unverbundenen Teilsektoren des Sekundärenergiemarktes erfolgen. Zwar gab es bereits in der Frühphase der Elektrizitätsversorgung Leitbilder einer großräumigen Vernetzung, doch waren diese aufgrund technischer Restriktionen zunächst nicht durchsetzbar. Die dominierenden kleineren Anlagen wurden von Speichern (Akkumulatoren) begleitet, um die Lastspitzen abzufangen. In der weiteren Folge waren die Lastspitzen oder besser die Nachfragetäler (die es zu füllen galt) wesentliche Elemente der Kooperationen mit dem Verkehrsbereich (Straßenbahn und U-Bahn, aber auch Elektromobilen) – eine frühe Form des Nexus von Infrastrukturen.

Zur Verbesserung der Energieeffizienz wurden Verkoppelungen der Energienutzungen vorgenommen u.a. via Fernheiznetzwerke (Heizkraftwerke) mit einem höheren Gesamtwirkungsgrad: diese erforderten letztlich Nahkraftwerke²⁷. Den Bestrebungen der sogenannten "Wärmewirtschaftler" gegenüber standen die "Elektrizitätswirtschaftler", deren Fokus letztlich auf der Produktion und Verteilung von

27 Im industriellen Bereich hatte die KWK in der industriellen Eigenstromerzeugung eine wichtige Rolle, die "lokal integrierte gekoppelte Energieproduktion" war für die Industrie vor 1914 bestimmend.

Strom lag und für die Abwärme bzw. Abwärmenutzung „außerhalb“ ihres Fachgebietes lagen. Relevant für die Durchsetzung der Elektrizitätswirtschaftler waren gleichermaßen ökonomische, technische und machtpolitische Faktoren. Die Amortisationszeiten bei reinem Stromverbrauch waren kürzer und zugleich ermöglichten es technische Neuerungen, wie das Wechselstromsystem, die lokalen Begrenzungen zu überwinden. Infolge der technologischen Entwicklung wurden Strompreissenkungen möglich, der Versorgungsradius konnte erweitert und Verkopplungen mit anderen Erzeugungsanlagen realisiert werden. Die sich selbst verstärkende Dynamik lag in den zu realisierenden Größenvorteilen der Energieproduktion und den erwarteten Zunahmen der Nachfrage. Die Skalenökonomie führte in der Folge zu einer Zunahme der Fixkosten, deren Amortisation eine wesentliche Rolle spielte und die einen erheblichen Anreiz setzte, die Nachfrage zu beleben (Elektrifizierung der Gesellschaft). In der Folge bildete sich das Leitbild der „Großraumverbundwirtschaft“ heraus, mit dem verbunden war, dass Großkraftwerke insbesondere in Kohlegebieten gebaut werden sollten und die Verbrauchszentren via großräumiger Netze beliefert werden sollten. So entwickelt sich im Bereich der Stromversorgung eine dreistufige Struktur aus Verbund-, Regional- und Lokalversorgern, in Verbindung mit Monopolstellungen der Unternehmen und mit Gebietsschutzverträgen zur Sicherung geschlossener Versorgungsgebiete heraus.

Der deutsche Energiesektor als großes technisches Infrastruktursystem hat sich trotz jahrzehntelanger Kritik an der vorherrschenden Marktmacht weniger überregionaler Versorger und trotz erheblichen gesellschaftlichen Widerstands gegen bestimmte Formen der Primärenergienutzung und -umwandlung (Stichwort Kernenergie) durch eine bemerkenswerte Stabilität ausgezeichnet (vgl. nachfolgend auch Libbe 2015).

Eine erste Veränderung trat mit der auf europäischer Ebene initiierten Liberalisierung des Energiemarktes ein, die ihren Niederschlag insbesondere in der EU-Binnenmarktrichtlinie Elektrizität fand. Ziel dieser Initiative war die Verwirklichung eines wettbewerbsorientierten Marktgeschehens. Die EU-Richtlinie 96/92/EG zum Elektrizitätsbinnenmarkt wurde 1998 mit dem novellierten Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) in nationales Recht umgesetzt. Die Regelungen betreffen unter anderem die vollständige Öffnung des Strommarktes, die zumindest buchhalterische Entflechtung vertikal integrierter Unternehmen in die Bereiche Erzeugung, Netzbetrieb und Verteilung sowie die Begrenzung der Konzessionsverträge auf eine maximale Laufzeit von 20 Jahren. All dies führte allerdings nicht zu einer größeren Vielfalt am Markt, sondern, insbesondere auf der Ebene der Übertragungsnetzbetreiber, zu einer weiteren Konzentration auf vier große Verbundunternehmen, die zudem den überwiegenden Anteil der inländischen Stromerzeugungskapazitäten hielten²⁸.

Einen weiteren politischen Impuls zum Umbau der energiewirtschaftlichen Strukturen gab das Regierungsprogramm der rot-grünen Bundesregierung, das unter anderem auf den Ausstieg aus der Nutzung der Atomenergie sowie auf den Vorrang für erneuerbare Energien und Energieeinsparung zielte. Dies fand im Jahr 2000 seinen Niederschlag im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das die Netzbetreiber dazu verpflichtet, regenerativ erzeugten Strom aufzunehmen und 20 Jahre lang zu gesetzlich festgelegten Mindestpreisen zu vergüten. Ebenfalls in diesem Jahr trat das Gesetz zum Schutz der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWKG-Gesetz) in Kraft, mit dem eine Stärkung und seit 2002 auch eine aktive Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung und damit einer städtischen Wärmeversorgung mit hohem energetischen Wirkungsgrad einherging.

28 Übertragungsnetzbetreiber betreiben die überregionalen Stromnetze. Sie transportieren Strom über große Entfernungen auf Höchstspannungsebene und sind für die Instandhaltung und Dimensionierung dieser Netze verantwortlich. Darüber hinaus haben sie die Aufgabe, jederzeit für ein Gleichgewicht zwischen Stromeinspeisung und -entnahme zu sorgen und so Netzschwankungen möglichst gering zu halten. Derzeit gibt es vier Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland: Tennet, Amprion, EnBW und 50 Hertz.

Infolge dieser hier nur sehr kursorisch wiedergegebenen Entwicklung (vgl. ausführlicher Libbe 2015) kam es zu einem zunehmenden Ausbau unter anderem von Windenergieanlagen, aber auch zu einer vermehrten Nutzung von Biomasse, Sonnenenergie und Erdwärme. Zugleich wurden insbesondere von Stadtwerken Kraftwerke zur gekoppelten Strom- und Wärmeversorgung in erheblichem Umfang ausgebaut (vgl. VKU 2012: 10f). Damit war erstmals ein politisches Zeichen für eine Transformation der Versorgungsstrukturen gesetzt, und in Verhandlungen mit der Stromwirtschaft wurde vereinbart, die Betriebsgenehmigungen für Kernkraftwerke zu begrenzen. Restlaufzeiten für die bestehenden Reaktoren wurden festgelegt. Zugleich ermöglichten technologische Innovationen insbesondere in Form von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien eine netzwerkartige Verknüpfung unterschiedlicher Formen der auch dezentralen Energieproduktion sowie die Koordinierung von Produktion und Verbrauch.

Die Verknüpfung von veränderten politischen Rahmenbedingungen, neuen technologischen Möglichkeiten, umweltpolitischen Anforderungen und zunehmendem Wettbewerb setzten die Akteure des infrastrukturellen Systems zwar unter Druck, gleichwohl gelang es ihnen, ihre Marktmacht zu erhalten beziehungsweise im liberalisierten Markt sogar noch auszubauen, alternative Technologien selektiv zu adaptieren und so den Wandel des infrastrukturellen Systems maßgeblich zu beeinflussen beziehungsweise im Sinne einer „machtbasierten Pfadkontrolle“ (vgl. Dolata 2011: 111–117) zu dominieren. Auf Druck der Kernkraftwerksbetreiber versuchte die Bundesregierung im Jahr 2010 die von ihrer Vorgängerregierung eingeleitete Entwicklung insofern zu korrigieren, als sie die Restlaufzeiten der Atomkraftwerke verlängerte. Allerdings setzte sie zugleich deutliche Zeichen für einen weiteren Ausbau erneuerbarer Energien sowie für den Klimaschutz und agierte insofern doppelgleisig.

Infolge der Ereignisse im japanischen Fukushima 2011 bekam die Kernenergie dann jedoch ihre endgültige politische Absage. In Verbindung mit den klimapolitischen Beschlüssen der Bundesregierung steht inzwischen das technologische und wirtschaftliche Profil einer ganzen Branche zur Disposition. Technisch-ökonomisch lange Zeit kaum überwindbar geltende zentralisierte großtechnologische Systemstrukturen wirken seitdem immer weniger stabilisierend für die Marktmacht der bisher dominierenden Akteure und drohen sogar zum Wettbewerbsnachteil gegenüber neuen Marktakteuren zu werden.

Beispiel Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

Mit der Installierung netzgebundener lokaler und regionaler Wasserversorgungsnetze ebenso wie mit der Etablierung der Schwemmkanalisation und der Abwasserreinigung in Abwasserbehandlungsanlagen wurde ebenfalls eine Pfadabhängigkeit par excellence kreiert (vgl. Kapitel 2.1). Der Ausbau der Netze und Anlagen ist nach Jahrzehnten der kontinuierlichen Erweiterung weitgehend abgeschlossen, die erreichten Umwelt- und Hygienestandards sind im weltweiten Vergleich sehr hoch und ein völliger Pfadwechsel ist unmittelbar zumindest für Deutschland und andere Länder Mitteleuropas nicht absehbar.

Das bedeutet jedoch nicht, dass nicht auch diese Systeme in Hinblick auf Umbauerfordernisse diskutiert würden. So ist der jährliche Investitionsaufwand hoch und Defizite in der Substanzerhaltung werden durchaus kritisch diskutiert. Handlungsbedarfe zeigen sich auch infolge des Klimawandels. Aufgrund zunehmender Extremwetterereignisse ist es notwendig, die Abwassersysteme so umzubauen, dass Niederschläge von versiegelten Flächen rasch abfließen können ohne die Kanäle zu überlasten. Dies bedeutet eine möglichst umfassende Entflechtung von Schmutz- und Regenwasser und ein Regenwassermanagement mit entsprechenden Versickerungsmöglichkeiten. Zum anderen ist der Wassergebrauch in Deutschland in den letzten Jahren erheblich gesunken. Regionale Rückgänge von 50 Prozent sind mittlerweile keine Seltenheit mehr. Ursächlich hierfür sind u.a. abnehmende Bevölkerungszahlen und sinkende gewerbliche Wasserbedarfe, aber auch effizientes Wasserrecycling im industriellen und gewerblichen Sektor. Dies führt vielerorts zu Unterauslastungen der siedlungswas-

serwirtschaftlichen Anlagen und Netze. Wo Überkapazitäten auftreten, sind sie mit betriebstechnischen Problemen verbunden. Die Anpassung der Kapazitäten ist vielerorts der einzig erfolgversprechende Weg, um auch künftig Versorgungssicherheit zu gewährleisten und die Wasserqualität bei weiter bezahlbaren Preisen zu sichern.

Die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz gewinnt immer mehr an Bedeutung. Insbesondere Kläranlagen weisen ein hohes Energieeinsparpotenzial auf. Energie wird je nach Verfahrenstechnik in unterschiedlich großen Anteilen für Wärme und elektrische Energie benötigt. Den Energieverbrauch bei der Abwasserentsorgung zu reduzieren, kann also den CO₂-Ausstoß wirksam verringern. Kläranlagen sind jedoch nicht nur bedeutsame Energieverbraucher, sondern können auch Energie liefern. Abwasser enthält nämlich nicht nur viel thermische, sondern auch andere Energie. Diese „zurückzuholen“, kann ein Baustein einer klima- und ressourcenschonenden Stadttechnik sein. Hier geht es gleichermaßen um eine Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen und die Nutzung biogener Wasserinhaltsstoffe.

Um die genannten Ziele zu erreichen werden folgende Ansatzpunkte für eine Transformation bzw. Umgestaltung der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur benannt:

- ▶ Die Differenzierung der Wassernutzung nach Verwendungszwecken,
- ▶ Die getrennte Erfassung und Aufbereitung von unterschiedlichen Teilströmen (Inhaltsstoffe, Abwärme),
- ▶ die dezentrale bzw. semizentrale Verknüpfung der Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung (z. B. Regenwassernutzung, Nutzung von aufbereitetem „Grauwasser“ als Betriebswasser),
- ▶ die Separation und Rückführung von Stoffen zur (Wieder-)Verwertung sowie
- ▶ die Vermeidung von Energieverlusten durch energieeffiziente Verfahren der Wasseraufbereitung bzw. in der Rückführung von Energie, insbesondere aus dem Grauwasserstrom (vgl. Kluge/Libbe 2010).

Integrierte Konzepte für Wasser, Abwasser und Energie sowie neuartige Sanitärsysteme werden derzeit im Rahmen verschiedener Modellvorhaben erprobt (vgl. Difu 2015) und Räume für eine solche Transformation identifiziert. Bei einer stärkeren Verbreitung solcher Lösungen würden die vorhandenen zentralen Abwasserentsorgungssysteme durch dezentralere Anlagen ersetzt. Im Ergebnis würde sich die Nutzung der natürlichen Wasserressourcen reduzieren, das Niederschlagswasser in die Nutzung einbezogen sein, die Energie- und Wertstoffpotenziale des Abwassers würden genutzt und damit letztlich die Belastung der natürlichen Ressourcen Gewässer, Boden und Luft reduziert werden. Derzeit ist eine solch umfassende Transformation jedoch nicht absehbar.

Beispiel ÖPNV – Straßenbahnen

Eine grundlegende Innovation, die der Straßenbahn einen rapiden Ausbau ermöglichte, war die Ende des 19. Jahrhundert erfolgte Elektrifizierung des Antriebes²⁹. Dieser Antrieb ermöglichte eine schnelle Beschleunigung, viel höhere Geschwindigkeit als der Vorläufer Pferdebahn. Wesentlicher Vorteil waren aber die größeren Kapazitäten, die mit der elektrisch betriebenen Straßenbahn befördert werden konnten. Gleichzeitig entstand so eine Pfadabhängigkeit an die Versorgung mit elektrischem Strom. Diese verringerte die Flexibilität da neben der Schiene nun auch eine elektrische Versorgung nötig war. Als Stromsystem wurde damals Gleichstrom für Straßenbahn eingeführt³⁰. In der damaligen Zeit gab

29 Am 16. Mai 1881 eröffnete in der damaligen Gemeinde Groß-Lichterfelde Werner von Siemens die erste elektrische Straßenbahnlinie der Welt.

30 Meist 600 V Gleichstrom.

es noch keine leistungsfähigen Wechselstrombetriebsmittel. Gleichstrommotoren konnten mit kleineren Abmessungen gebaut und die Spannung besser reguliert werden. Das hat sich später geändert, so dass Eisenbahnen mit Wechselstrom betrieben werden. Die Nutzung von Gleichstrom geht aber einher mit hohen Übertragungsverlusten und außerdem einer Inkompatibilität zur elektrifizierten Eisenbahn, die in Deutschland eben Wechselstrom³¹ nutzt. Damit waren die Schienensysteme der Eisenbahn und Straßenbahnen weitgehende getrennt und verlaufen in einigen Fällen sogar parallel.

Diese Pfadabhängigkeit konnte erst mit durch technologische Weiterentwicklungen der Antriebstechnik und von effizienten Stromwandlern aufgeweicht werden. Eine ganz wesentliche Innovation stellt dabei die seit den 1990er Jahren eingesetzten Zweisystembahnen („Tram-Train“) dar. Diese ermöglichen den durchgehenden Betrieb auf Straßenbahn-, Stadtbahn- und Regionalbahnstrecken, was eine enorme Verbesserung der räumlichen Verbindungs- und Erschließungsqualitäten bedeutet. Die nach BOStrab³² betriebenen Straßenbahnen können so ohne wesentlichen Ausbau der Strecken ihr befahrenes Netz je nach lokaler Eisenbahnnetzichte stark erweitern. Nötig sind vergleichsweise überschaubare Investitionen in die Fahrzeugtechnik und Verbindungsstrecken. Ggf. werden aber auch stillgelegte Eisenbahnstrecken reaktiviert und elektrifiziert. Ein weiterer Innovationsprung bei der Stromversorgung stellt die Rekuperation, also die Bremsenergieerückspeisung dar, die eine größere Energieeffizienz ermöglicht. Des Weiteren ermöglichen in jüngster Zeit vor allem die durch die Konjunktur der Elektromobilität weiterentwickelten Supercaps, eine starke Erhöhung der fahrzeugbezogenen Stromspeicherkapazität, um so abschnittsweise auch ohne Stromzufuhr fahren zu können. Ebenfalls finden im Zusammenhang mit dem Ausbau der Elektromobilität unterirdische Stromzufuhrsysteme Verbreitung (z. B. in Bordeaux, oder das System PRIMOVE). All diese Neuerungen verringern die Abhängigkeit vom Gleichstrom-Versorgungssystem und steigern enorm die Flexibilität der Straßenbahn.

Die Festlegung auf Schiene und große Gefäße führt aber zu einer zweiten Entwicklungshemmnis. Nach dem 2. Weltkrieg, mit der massenhaften Verbreitung von fossilen betriebenen, kleineren, wendigen Verkehrsmitteln (Pkw, Bus, Lieferwagen) galt die Straßenbahn plötzlich als Dinosaurier der Stadtverkehrsmittel. Groß, schwer und laut war ihr Image und so im Zielkonflikt mit den anderen Verkehrsmitteln vor allem dem Automobil in den engen Straßen insbesondere im Innenstadtbereich. Hinzu kam dass durch Suburbanisierungstendenzen die Fahrgastkonzentration an den Hauptachsen abnahm, Verkehrsverteilungen disperser wurden und so die großen Gefäße der Straßenbahn ineffizienter wurden. Des Weiteren führte die Massen-Pkw-Motorisierung zum generellen Verlust von ÖPNV-Fahrgästen. Es kam zu Streckstillegungen bis hin zum gänzlichen Einstellen des Straßenbahnbetriebes in zahlreichen Städten. Die Massen-Pkw-Motorisierung führt jedoch spätestens in den 1970er Jahren zu zunehmender Umweltverschmutzung und Verkehrsproblemen (Stau, Unfälle) gerade in den Städten. So rückte das vergleichsweise emissionsfreie Verkehrsmittel Straßenbahn wieder in den Fokus der Verkehrsplaner. Begleitet wurde das durch Umweltkampagnen und städtebaulichen Konzepten, die sich wieder auf ÖPNV-Achsen bezogen. Entscheidend war aber, dass das System Straßenbahn sich durch technologische Entwicklungen den Erfordernissen eines modernen Stadtverkehrs anpasste. So wurden durch die Nutzung von neuen Materialien die Fahrzeuge immer leichter und leiser. Die Barrierefreiheit ist eine wichtige Voraussetzung für die Nutzbarkeit von Verkehrsmitteln in alternden Gesellschaften. Diese wurde für die Straßenbahn durch die Einführung der Niederflurtechnik hergestellt. Und mit Zweirichtungsbahnen konnte auf flächenintensive Endschleifen verzichtet werden und so die Straßenbahn besser in eng bebaute Stadtgebiete integriert werden. Durch Rasengleise werden Schallemissionen gesenkt und die städtebauliche Integration verbessert. IuK-Technik ermöglichen heute

31 Standardbahnstromsystem in Mittel- und Nordeuropa ist 15.000 V 16,7 Hz.

32 Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen 2007.

über GPS-Ortung und Zugfunk ein effizientes Managen des Betriebes und ein Qualitätssprung in der Echtzeitfahrinformation.

Beispiel IKT

Techniken zur Verbreitung von Informationen über kürzere Distanzen werden schon sehr lange genutzt: Man denke an Trommeln, Rauchzeichen, Brieftauben usw. Schon im Mittelalter wurden Nachrichten auch in schriftlicher Form auch über einige Entfernung übermittelt. Kaiser und Klerus benutzten dafür Boten und Reiter. Bis zum Spätmittelalter gab es in Deutschland jedoch kein öffentliches Postwesen und auch kaum eine Notwendigkeit für die Übermittlung von privaten schriftlichen Nachrichten, konnten doch nur 1-2 % der Bevölkerung Lesen und Schreiben. Ende des 15. Jahrhunderts wurde in den Grenzen des Heiligen Römischen Reiches ein System von Poststationen etabliert. Die Stationen fungierten als „Netzknoten“, an denen Reiter Pferde und Sendungen austauschen konnten. Die Familie Thurn und Taxis entwickelt sich zum grenzüberschreitenden Postmeister. Im 16. Jahrhundert bauten auch andere deutsche Fürsten eigene Posttransportsysteme auf. In der folgenden Zeit entwickeln sich verzweigte regionale und überregionale Postsysteme auf der Basis von Postkutschen-transporten. Im Zeitalter der Industrialisierung kann der Posttransport durch Motorisierung und den Auf- und Ausbau von Eisenbahnsystemen beschleunigt und weiter verstetigt werden. Innovationen dieses „Kommunikationssystems“ folgten den Pfadabhängigkeiten der physischen Transportsysteme.

Mit der Einführung der elektrischen Telegrafie folgte die Innovation der nun an Bedeutung gewinnenden Kommunikationssysteme neuen Innovationspfaden. Die Entwicklung entkoppelte sich (zumindest teilweise) von den physischen Transporttechnologien, wenngleich sie ihnen z. B. hinsichtlich ihrer Netzkonfiguration oft erhalten bleibt. So folgten Telegrafienstrecken bspw. Eisenbahnstrecken und selbst im Mobilfunkzeitalter orientieren sich großräumige Ausbaupläne der Netze an den Verkehrskorridoren des nun dominierenden Verkehrsträgers Automobil. Die Entwicklung der Nutzung von Telekommunikationssystemen in Industrie, Handel und in den Haushalten ist auch und gerade im Zeitalter des Internet nicht unabhängig von der Entwicklung der Verkehrssysteme zu betrachten. Betrachtet man beispielsweise den stetig wachsenden Online-Handel, ist dessen Erfolg nur aus der Entwicklung komfortabler Telekommunikationsangebote, über die Information, Kommunikation und Transaktionen stattfinden können, und funktionierender Logistiksysteme der Warenlieferung und Retourenabwicklung zu erklären mit entsprechenden Substitutionswirkungen zwischen Telekommunikation und Verkehr ebenso wie induzierter Nebenwirkungen.

Die Verbreitung des Telefons führte zu einer Verlagerung von der Schrift- zur Sprachkommunikation. Beide Kommunikationsformen folgen unterschiedlichen Innovationspfaden. Die durch Innovationen der Mikroelektronik getriebene Miniaturisierung und Kostenersparnis im Bereich der Informations- und Kommunikationstechniken war mit einer immer weiteren Verbreitung der Endgeräte bis hin zu deren „Mobilisierung“ verbunden.

Die Digitalisierung der Kommunikationsnetze führt zu einer Re-Integration von Daten- und Sprachkommunikation. Informations- und Kommunikationstechnologien sind im Zuge der Digitalisierung ehemals analoger Kommunikationsinfrastruktur in den vergangenen Jahrzehnten zu einem nicht mehr trennbaren Innovationssystem und zu einer integrierten Infrastruktur zusammengewachsen. Der Innovationsprozess wird u.a. getrieben durch ständig wachsende Anforderungen der Software an Hardwarelösungen (Verarbeitungsgeschwindigkeit, Speicherkapazität, Bandbreite usw.) und ständig neue Potenziale für Softwarelösungen bei neuer Hardware. Die Dauer der Nutzbarkeit von Hardware wird dabei in zunehmendem Maß von den Zyklen der Softwareentwicklung bestimmt. Am deutlichsten wird dies im Bereich des Mobilfunks, wo Ersatzbedarf für technisch einwandfrei funktionierende Endgeräte durch neue Software erzeugt wird.

Das Internet ist ebenso Kennzeichen dieses ko-evolutionären Prozesses wie Entwicklungstreiber: es initiiert und fördert die Multimedialität der Angebote, die Hinwendung zur (Bewegt-

)Bildkommunikation, die Forderung nach höheren Speicherkapazitäten und höheren Bandbreiten, die Nachfrage nach ubiquitär verfügbarer (gespeicherter) Energie. Das Netz entwickelte sich vom ursprünglichen „Netz der Netze“, das Personen vernetzt, zum „Netz der Dinge“, das zur Vernetzung von Gegenständen genutzt wird, hin zum „Netz der Dienste“ mit dem Internet als „Datenwolke“.

Die Akteure, die den Prozess initiieren, treiben und steuern, verändern sich dabei. Mit der Beschlussfassung und Veröffentlichung des Grünbuches der Europäischen Kommission über die Entwicklung des gemeinsamen Marktes für Telekommunikationsdienstleistungen und Telekommunikationsgeräte 1987 wurde auch in Deutschland eine Liberalisierung des Telekommunikationsmarktes in Gang gesetzt. In dessen Folge fand 1989 die Neustrukturierung des Post- und Fernmeldewesens und der Deutschen Bundespost (Postreform I) statt, die eine Liberalisierung des Endgerätemarktes, der Daten- und Mehrwertdienste sowie des Mobil- und Satellitenfunkbereiche mit sich brachte. Weitere Liberalisierungsschritte im Sprachtelefondienst und im Bereich der Netzinfrastuktur bis hin zu einer umfassenden gesetzlichen Neuregelung des Telekommunikationsbereichs im Telekommunikationsgesetz folgten. Neben den staatlichen Monopolanbietern traten private Anbieter: zunächst im Mobilfunk-, dann auch im Festnetzbereich. Mit der Entwicklung des Internet kamen neue Akteure hinzu: Betreiber von Plattformen, Suchmaschinen, „Sozialen Netzwerken“, Cloud-Diensten usw. Neue Wertschöpfungsketten entwickeln sich, die z.T. mit großräumigen Verlagerungen von Umsatzanteilen verbunden sein könnten. Beispiele dafür sind etwa im Bereich der Medienwirtschaft die Verlagerung von Werbeeinnahmen aus dem eher lokal, regional und national organisierten traditionellen Medienunternehmen hin zu global agierenden Integratoren („Suchmaschinen“, Vertriebs- und Handelsplattformen, „soziale Netzwerke“), im Bereich der Tourismuswirtschaft die Verlagerung von Einzelbetrieben des Hotel- und Gaststättengewerbes, Reisebüros und professionellen Buchungssystemen hin zu Vermittlungsplattformen für Ferienwohnungen und anderen Übernachtungen oder im Bereich der Mobilitätswirtschaft von lokal und z.T. kleinbetrieblich-genossenschaftlich organisierten Vermittlungsformen für Taxifahrten hin zu global agierenden Plattformen der Dienstleistungsvermittlung.

Insgesamt haben die technologischen Veränderungen, die ökonomischen und regulatorischen Rahmenbedingungen und das Nutzerverhalten zu einer zunehmenden Durchdringung von virtuellem und physischem Raum in den Städten geführt.

3 Aktuelle Diskurse zu Infrastrukturen

Die Entwicklung und Ausgestaltung von Infrastrukturen ist gleichermaßen mit ihren Charakteristika und Funktionen (vgl. Kapitel 1.2) sowie den wahrgenommenen gesellschaftlichen Herausforderungen (vgl. Kapitel 4) und deren gesellschaftlicher Verarbeitung verbunden. Zugleich sind Infrastrukturen dem Spannungsverhältnis von gesellschaftlichen Leitbildern der Vergangenheit, den aktuellen Herausforderungen und der Zukunftsgestaltung ausgesetzt. Die Auseinandersetzung um die Infrastrukturen beziehungsweise die Infrastrukturentwicklung kann insofern als Auseinandersetzungen um Zukünfte beschrieben werden, indem die Pfadgestaltungen der Vergangenheit in der Regel zu einer Eingrenzung des Suchraums führen.

Vor dem Hintergrund absehbarer ökologischer und ökonomischer, aber auch technologischer Limitierungen beginnen sich die Anforderungen an die Infrastrukturen zu verändern. An die Stelle möglichst unbegrenzter Leistungsbereitstellung treten vermehrt Anforderungen von Energie- und Ressourceneffizienz sowie finanzieller Tragfähigkeit und Robustheit gegenüber klimatischen Extremereignissen. Normativ damit verbunden ist das Anliegen der Transformation zu einer klimaverträglichen Gesellschaft ohne Nutzung fossiler Brennstoffe, in Verbindung mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und dem Verzicht auf die Nutzung der Kernenergie (WBGU 2011). Die vorhandenen Infrastrukturen stehen damit auf dem Prüfstand.

3.1 Infrastrukturen und Wendediskurse

Der heutige Diskurs zu nachhaltigen Infrastrukturen ist von der allgemeinen Umweltdiskussion, wie sie sich spätestens ab den 1960er-Jahren entwickelt hat, nicht zu trennen. Die Auseinandersetzungen um die Frage der Kernenergie und der Szenarien des Energieverbrauchs³³ führten einerseits zu gesellschaftlichen Konflikten, andererseits aber auch zur Entwicklung alternativer Entwicklungspfade, wie sie zum Beispiel mit dem Schlagwort der Energiewende angestoßen wurden.

Im Rahmen der Wendediskussionen (Energiewende, Verkehrswende) wurde allerdings in der Regel die Rolle der Infrastrukturen, deren Relevanz und Bedeutung nicht systematisch bearbeitet, vielmehr wurden eher fachspezifische Analysen durchgeführt, was in einzelnen Bereichen verändert werden sollte (vgl. u.a. Hennicke/Johnson/Kohler/Seifried 1985, Hesse 1993).

Loske und Schaeffer (2005) haben in jüngerer Zeit den Zusammenhang von nachhaltiger Entwicklung und Infrastrukturen betont, in dem sie die Frage stellen, wie Infrastrukturen gestaltet werden sollten, um den Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung zu genügen, und darauf verwiesen, dass die Infrastrukturdebatten wenig systematisch und häufig ohne ordnungspolitischer Vorstellungen geführt werden (Loske / Schaeffer 2005: 14). Vor allem fehlt nach Auffassung der Autoren eine Strategie, wie die Infrastrukturerneuerung im nachhaltigen Sinne verfolgt werden könnte. Sie machen deutlich, dass „eine Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft in Richtung Nachhaltigkeit ohne eine schrittweise Umgestaltung der Infrastrukturen für Energie, Verkehr, Wasser und Stoffflüsse nicht gelingen kann.“ (Loske / Schaeffer 2005: 14).

Sie verweisen zudem auf die prägende Kraft der Infrastrukturen³⁴. So können die Individuen durch ihr Verhalten wesentliche Beiträge für eine nachhaltige Entwicklung leisten, gleichwohl erweisen sich die Rahmenbedingungen, die auch durch Infrastrukturen „vorgegeben“ werden, nach Ansicht von Loske/Schaeffer (2005: 14) als wesentliches Hemmnis für Verhaltensänderungen. So wird regelmäßig darauf verwiesen, dass zwar ein hohes Umwelt- und Naturbewusstsein in der Bevölkerung existiert, dass aber eine erhebliche Kluft zu dem tatsächlichen Verhalten im Alltag besteht (Kuckartz/Rheingans-Heintze 2006). Dieses Spannungsverhältnis ist auch eine Folge des durch Infrastrukturen geschaffenen „Ermöglichungsraums“ umweltschädigenden Handelns, welcher das nicht nachhaltige gesellschaftliche Handeln und die (Wachstums-)Leitbilder der Vergangenheit widerspiegelt. Insofern ist die Rolle der Infrastrukturen im Sinne eines Ermöglichungsspielraums höchst relevant. Eine Transformation in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung muss somit gerade auch durch die Infrastrukturen mitgeprägt werden.

3.2 Infrastrukturen und Transitionsdiskurse

Die aktuellen Diskurse um eine nachhaltige Entwicklung lassen sich vereinfacht in vier Hauptströme differenzieren. Diesen vier Diskursen liegen unterschiedliche Leitbilder gesellschaftlicher Entwicklung zu Grunde, die im Grundsatz auch Auswirkungen auf die Leitbilder der Infrastrukturentwicklung haben:

- *Green Growth* Ansätze, die im Grundsatz eine klimaverträgliche Gesellschaft anstreben und die Vereinbarkeit mit den herkömmlichen Maßen des Wirtschaftswachstums als gegeben ansehen.

33 Vgl. dazu bspw. den Bericht der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“ (Deutscher Bundestag 1980). Im Rahmen dieser Enquete Kommission wurden unterschiedliche Szenarien entwickelt, darunter auch ein Szenario, das ohne die Nutzung der Kernenergie auskam.

34 Infrastrukturen haben oftmals tiefgreifende kulturelle Wirkungen. Dies zeigt sich historisch am Beispiel der Hygienebewegung und dem Aufbau von Wasserversorgung und Kanalisation (vgl. Kapitel 2.1) ebenso wie bei der Beleuchtung des öffentlichen Raums (vgl. Hasenöhl 2015) oder dem Aufbau des städtischen Nahverkehrs (vgl. Höhne 2015). Das Leben der Menschen wurde durch die Implementierung neuer technischer Systeme oftmals grundlegend verändert, verbunden mit einem erheblich höheren Verbrauch an Energie und Ressourcen.

Diese Ansätze fokussieren letztlich auf die Suche nach Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung, wobei die institutionellen Strukturen nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden, sondern das „Greening“ von Wirtschaft und Gesellschaft unterstützt werden soll.

- ▶ *Green Economy* Ansätze, die auf einen sinkenden Ressourcenverbrauch abzielen, zugleich auch auf andere Entwicklungsmaße fokussieren (bspw. der UN Human Development Index (HDI) und Investitionen in das Naturkapital für erforderlich halten (vgl. United Nations Environment Programme - UNEP 2011).
- ▶ *Degrowth* Ansätze, die zunächst aus der Frage der sozialen Verteilungsgerechtigkeit entstanden sind, stellen eine Verbindung zwischen den sozialen Beziehungen und den ökologischen Fragen her. Eine wesentliche Forderung im Rahmen der Degrowth Debatte besteht darin, dass gesellschaftliche Bereiche aus dem marktorientierten Wirtschaftskreislauf „herausgeholt“ werden sollen. Mit Blick auf die erforderlichen Schrumpfung von Produktion und Konsum wird darauf verwiesen, dass es um demokratische Aushandlungsprozesse geht (und eben nicht um Austerität, also eine strenge Haushaltspolitik und einen „schlanken“ Staat) und eine (Wieder-) Aneignung der Gemeingüter durch die Gesellschaft erreicht werden sollen.
- ▶ *Postwachstum*-Ansatz, welcher davon ausgeht, dass eine nachhaltige Entwicklung nur durch eine Wachstumseinschränkung möglich ist und von der Diagnose ausgeht, dass das institutionelle Gefüge der aktuellen Gesellschaftsformen inhärent auf Wachstum angewiesen ist und ein Umbau des institutionellen Gefüges erforderlich ist. Basis für diesen Umbau ist dementsprechend ein kultureller Wandel in den Gesellschaften.

Mit Blick auf die Herausforderungen an die Infrastrukturen ist festzuhalten, dass Infrastrukturen (und deren Dynamiken) nur begrenzt im Fokus dieser Diskurse stehen, sondern im Wesentlichen implizit behandelt werden. Allerdings wird auch deutlich, dass die Anforderungen dieser unterschiedlichen Transformationsvorstellungen auch umfassende Rückwirkungen auf die Gestaltung der Infrastrukturen haben.

Typisierend können die den Diskursen inne wohnenden Leitbilder gesellschaftlicher Entwicklung mit Blick auf die Infrastrukturentwicklung wie folgt differenziert werden:

- ▶ *Green Growth*: es wird eine (vorrangig technische?) Weiterentwicklung der Infrastrukturen benötigt, um den neuen Herausforderungen gerecht zu werden (Wachstum ermöglichen bei geringeren Umweltbelastungen);
- ▶ *Green Economy*: es erfolgt eine Orientierung auf die Minderung von Umweltverbräuchen, und Infrastrukturen werden hierbei zur Unterstützung des Pfadwechsels benötigt;
- ▶ *Postwachstum*: Infrastrukturen werden zur Unterstützung des Wandels benötigt, sie müssen in ein verändertes, nicht wachstumsgetriebenes Wirtschaftsregime eingebettet werden (Orientierung an den „Wende“-vorstellungen);
- ▶ *Degrowth*: Infrastrukturen spielen in der aktuellen internationalen Degrowth Debatte gegenwärtig nur eine begrenzte Rolle (Videira et al. (2014). Gleichwohl sind gewisse Ähnlichkeiten mit den früheren Wendedebatten unverkennbar.

3.3 Infrastrukturdiskurse in unterschiedlichen politischen Arenen

Die Frage der Zukunft von Infrastrukturen wird gegenwärtig in ganz unterschiedlichen politischen Zusammenhängen diskutiert.³⁵ Folgende Themen prägen die politischen Debatten in der Praxis:

- ▶ Finanzierung von Infrastrukturprojekten und Investitionsbedarf;
- ▶ Rechtliche und regulatorische Anpassung (auf nationaler und europäischer Ebene);
- ▶ Infrastrukturgestaltung vor dem Hintergrund neuer technischer Systemlösungen sowie umweltbezogener und sozialer Anforderungen;
- ▶ Infrastruktur als Garant für wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und als Standortfaktor;
- ▶ Organisations- und Eigentumsformen.
- ▶ Nachhaltiges Wirtschaftssystem, Klimaanpassung und ressourcenschonende Energie- und Infrastrukturprojekte;

Die Arenen zeigen die Schwerpunkte der (sektorübergreifenden) infrastrukturpolitischen Diskussion in Deutschland. Die daran beteiligten Akteure sind vielfältig. Neben den einschlägigen Bundesressorts sind insbesondere die kommunalen Spitzenverbände und die Kommunalwirtschaft zu nennen. Ebenso Interessengruppen der Wirtschaft, nachgeordnet Gewerkschaften und Verbraucherverbände.

Die dominierenden Themen entsprechen der zentralen Funktionen, die funktionierende Infrastrukturen für Wirtschaft und Gesellschaft besitzen (vgl. Kapitel 1.2). Ein Thema wie „Organisations- und Eigentumsformen“ ist dabei (quasi) ein Dauerbrenner der Diskussion und Spiegelbild von Pendelbewegungen zwischen Staat und Markt. Andere Themen wie „Finanzierung“ oder „Öffentlichkeitsbeteiligung“ haben hingegen in jüngerer Zeit erheblich an Bedeutung gewonnen, was sich durch die Verschiebung finanzieller Möglichkeiten einerseits und veränderter Planungsansprüche andererseits erklärt. Die Interessengruppenübergreifende Fokussierung auf PPP steht dabei in einem gewissen Widerspruch zur quantitativen Bedeutung der tatsächlich darüber finanzierten Projekte. Eine Arena wie „Regulierung“ hingegen wird durch politische Fragen dominiert, die stark von mehr oder weniger tagespolitischen Richtungskämpfen geprägt sind, die gleichwohl äußerst langfristige Folgen haben können, da hierüber der Rahmen der Leistungserbringung definiert wird.

Die Diskursarenen machen deutlich, dass die Frage zukunftsfähiger Infrastrukturen deutlich breiter als die Frage klimaresilienter Infrastrukturen ist. Energie- und Klimafragen sind in den identifizierten Arenen eine wichtige Referenz, dominieren aber damit nicht zwingend die Diskurse. Allerdings kommen die Akteure in keiner Arena umhin, Fragen der Energie- und Ressourceneffizienz, des Klimaschutzes oder der Klimaanpassung sowie der Resilienz zu thematisieren. Dies verweist ganz generell darauf, dass Infrastrukturen stärker in den umweltpolitischen Fokus gerückt sind und die Überprüfung von Anpassungsbedarfen anerkannt wird.

3.4 Internationale Entwicklungen mit Auswirkungen auf Infrastrukturen

Die Europäische Umweltagentur (European Environmental Agency - EEA 2015) verweist in ihren Analysen auf die vielfältigen insbesondere systemischen Herausforderungen sowie die veränderten Ansatzpunkte für die Umweltpolitik. Sie knüpft damit letztlich an den oben erwähnten Postwachstums-Ansatz an, um deutlich zu machen, welche Herausforderungen tatsächlich bestehen. Diese Herausforderungen machen demnach laut EEA einen fundamentalen Wandel erforderlich: So sind weder Umweltmaßnahmen noch Effizienzverbesserungen für die Erreichung der Umweltziele hinreichend; „Stattdessen wird gutes Leben innerhalb ökologischer Grenzen grundlegende Veränderungen der Produktions- und Verbrauchssysteme erfordern...“ (EEA 2015:14). Die EEA verweist in diesem Kontext

35 Diese Arenen wurden im Rahmen von KLARIS als internes Politikpapier für das UBA aufbereitet.

auf die Relevanz der Infrastrukturen und die Herausforderungen, die sich u.a. durch die Pfadabhängigkeiten der Infrastrukturentwicklung ergeben (EEA 2015: 16).

Die EEA identifiziert und analysiert 11 globale Megatrends³⁶, die direkt oder auch indirekt auf Europa einwirken: mit Blick auf die Entwicklung der Infrastrukturen relevant sind vor allem die Herausforderungen der Demographie, technologische Veränderungen, Wirtschaftswachstum, Klimawandel, und Verknappung der Ressourcen sowie die Ausdifferenzierung der Governanceansätze.

Das Spannungsverhältnis zwischen der Anforderung der Anerkennung „planetarer Grenzen“ und den gesellschaftlichen Trends, wie sie die EEA beschreibt, macht die Steuerungsanforderungen deutlich. Ebenso wird die Relevanz der Infrastrukturen für die Ermöglichung des erforderlichen Pfadwechsels deutlich.

Mit Blick auf die genannten Megatrends lassen sich typisierend zwei Herausforderungen aufzeigen: auf der einen Seite sind in vielen Bereichen jene Entwicklungen, die den Druck auf die Umweltressourcen ausüben, kaum gebrochen und auf der anderen Seite ist die politische und gesellschaftliche Gegensteuerung auf der internationalen Ebene bislang begrenzt. Das Spannungsfeld zwischen tradierter wirtschaftlicher Entwicklung und den Erfordernissen des Wirtschaftens innerhalb der planetaren Grenzen ist weiterhin groß.

Dies hängt zweifelsohne eng mit den verfolgten Leitbildern oder Entwicklungsmodellen zusammen, die im Sinne nachholender Entwicklung die Übernahme der Leitvorstellungen der Industrieländer im Fokus hat. Die Diskussionen im Kontext der Rio+20 fokussierten gerade auch auf neue Leitbilder für die ökonomische Entwicklung wie bspw. der „Green Economy“ (vgl. Kapitel 3.2).³⁷ Eine wesentliche Blickwende des Ansatzes der „Green Economy“ besteht einerseits darin, dass auf das „powerhouse“ der Gesellschaften, nämlich die Wirtschaft, fokussiert wird und andererseits die Anforderung erhoben wird, in „Naturkapital“ zu investieren. Ein weiterer relevanter internationaler Diskurs findet im Bereich der Entwicklung der Sustainable Development Goals (SDG) statt, in welchem eine Integration der Nachhaltigkeits- und Entwicklungsziele angestrebt wird.

Mithin ist festzustellen, dass gerade auch auf der internationalen Ebene eine intensive Diskussion um die Leitbilder zukünftiger Entwicklung stattfindet, die eine Abkehr von den überkommenen Modellen wirtschaftlicher Entwicklung anstrebt.³⁸ Infrastrukturen spielen in diesem Kontext eine wichtige Rolle.

Die von der EEA dargestellten Trends betreffen Europa einerseits direkt, wie im Falle der Herausforderung Wirtschaftswachstum und dem Druck auf Ökosysteme generell und andererseits indirekt, in dem eine Reihe von Trends, wie Urbanisierung und Bevölkerungswachstum, in den Ländern des Südens Rückwirkungen auf Europa haben. Diese Trends betreffen zentrale Fragestellungen dieser Studie, vor allem die Frage der Anpassung und der Zukunftsfähigkeit der Infrastrukturen. Mit Blick auf gesellschaftliche Entwicklungen wird auch deutlich, dass traditionelle Entwicklungspfade dominieren und eine Verschiebung zu einer nachhaltigen Entwicklung nur partiell feststellbar ist, und damit die zentrale Herausforderung der Zukunft bleibt, mithin die neuen Leitbilder praxisrelevant werden. Infrastrukturen sind in diesem Zusammenhang stärker in ihrem systemischen Zusammenwirken zu denken

36 (i) Dynamiken der (unterschiedlichen) Bevölkerungsentwicklung, (ii) die Zunahme der Urbanisierung, (iii) technologische Veränderungen, (iv) Krankheiten und Pandemien, (v) Wirtschaftswachstum, (vi) multipolare Welt, (vii) Wettbewerb um Ressourcen, (viii) zunehmende Belastung der Ökosysteme, (ix) zunehmende Folgewirkungen des Klimawandels, (x) Umweltverschmutzung und schließlich (xi) die Ausdifferenzierung der Governanceansätze.

37 Eine differenzierte Diskussion der ausdifferenzierten Diskurse um Green Economy, insbes. mit Blick auf die Bewertung des Wachstums und die Verteilungsimplicationen entsprechender Strategien kann an dieser Stelle nicht vorgenommen werden.

38 Es muss nicht betont werden, dass zwischen der Diskussion um das Erfordernis eines neuen (nachhaltigen) Entwicklungsmodells und der praktischen Umsetzung zumindest in kurz- bis mittlerer Sicht deutliche Divergenzen festzustellen sind, wie das Beispiel um weitreichende Abkommen im Kontext der Entwicklungspolitik deutlich macht.

und Prinzipien der Zukunftsfähigkeit von Infrastrukturen in Hinblick auf Ressourcenleichtigkeit, Demografiefestigkeit und Klimaresilienz zu entwickeln.

3.5 Infrastrukturen zwischen Staat und Privat

Vor einigen Jahren hatte der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen in seinem Gutachten „Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ als zentrale Maßnahme zur Realisierung der Transformation den „gestaltenden Staat“ benannt (vgl. WBGU 2011: 215–254), der pro-aktiv Prioritäten setzt und Weichen für den Strukturwandel stellt und der zugleich neue Partizipationsmöglichkeiten im Sinne von Willensbildung und Kooperation für seine Bürgerinnen und Bürger vorsieht. Der WBGU bringt damit letztlich zum Ausdruck, dass sich der Staat in der Vergangenheit offensichtlich zu sehr zurückgezogen hat und seiner Gemeinwohl sichernden Funktion nicht hinreichend gerecht wird. Stattdessen sollten Staatsapparate ganz generell wieder eine aktivere Rolle einnehmen sollten, um globalen Herausforderungen wie dem Klimawandel und dem Klimaschutz oder auch der Wirtschafts- und Finanzkrise wirkungsvoll begegnen zu können.

Vor diesem Hintergrund war in den letzten Jahren eine gewisse Rückbesinnung auf den Staat in seiner Funktion als Leistungserbringer und Infrastrukturbetreiber zu beobachten. Dies zeigt sich insbesondere im Trend der Rekommunalisierung (vgl. Libbe 2015a sowie Libbe/Hanke 2011), also der Neugründung von Eigengesellschaften durch die Kommunen zum Aufgreifen von Aufgaben, der Rückübertragung operativer Dienstleistungen oder der Erhöhung des Gesellschaftsanteils der öffentlichen Hand an gemischt-wirtschaftlichen Unternehmen. Diese nicht nur in Deutschland sondern verschiedenen europäischen Ländern zu beobachtende Entwicklung verweist auf die Bedeutung der öffentlichen Hand bei elementaren Grunddienstleistungen. Staat und Kommunen sind dabei, entgegen manch neoliberaler Argumentation, eben nicht nur Korrektiv für Marktversagen, sondern sie sichern vielerorts pro-aktiv die Lebensbedingungen der Menschen und die wirtschaftliche Entwicklung von Regionen durch den Bau und Betrieb von Infrastrukturen.

Die Rolle des Staates ist aber auch in ganz anderer Hinsicht elementar: Wann und wo immer technologische Innovationen zu wirtschaftlichem Aufschwung und Wohlstand geführt haben, hatte ein aktiver Staat die Hand im Spiel. Von der Elektrifizierung bis zum Internet – Motor der Entwicklung, oft bis zur Markteinführung, war in globaler Betrachtung stets der Staat. Dies nicht allein im Sinne des Setzens von Anreizen sowie regulatorischer Rahmenbedingungen. Innovationen waren und sind vielmehr stets das Ergebnis eines langfristigen kumulativen, kollektiven und ergebnisunsicheren Prozesses, in dem Staaten und deren Forschungs- und Innovationsförderung eine zentrale Rolle spielen. Gerade um die Zukunftsfähigkeit von Infrastrukturen zu sichern und weiterzuentwickeln, braucht es einen langen Atem und die Sicherung durch öffentliches Kapital. Dies gilt insbesondere bei Zukunftstechnologien wie den Ausbau erneuerbarer Energien (Mazzucato 2014).

4 Herausforderungen für zukunftsfähige Infrastrukturen

Die Verknüpfungen zwischen Infrastrukturen, getrieben vor allem durch Entwicklungen in den Bereichen IKT und Energie, werden zunehmend enger. Die Transformation der Systeme ist dabei durch unterschiedliche Dynamiken geprägt und hat zugleich Konsequenzen für die mit den Infrastrukturen verbundenen Sicherheitsphilosophien.

4.1 Zunehmende Kopplung von Infrastrukturen

Infrastrukturen werden zur Unterstützung einer wirtschaftlichen Entwicklung geschaffen. Der Fokus lag in der Vergangenheit auf der Förderung des Wirtschaftswachstums, was als Garant für die gesellschaftliche Entwicklung angesehen wurde.³⁹ Schon früh gab es dabei stets auch Verknüpfungen zwischen einzelnen Infrastrukturen. So zum Beispiel zwischen der Entwicklung des fossilen Energiesystems und dem Ausbau der Verkehrsinfrastrukturen (insbesondere auch Flussausbauten oder elektrische Straßenbahnen). Das Funktionieren der einen Infrastruktur ist dabei zumeist die Voraussetzung für das Funktionieren der anderen Infrastruktur. Insgesamt waren die Infrastrukturen aber wenig miteinander gekoppelt. Planung und Betrieb ebenso wie ihre technisch-institutionelle Regulierung erfolgte und erfolgt bezogen auf das jeweilige Infrastruktursystem.

Einige Entwicklungen führen in jüngerer Zeit dazu, dass die über lange Zeit nur begrenzten Kopplungen der Infrastrukturen zunehmen und damit die Entwicklung der Infrastrukturen zunehmend abhängig voneinander werden. Geht man von typisierten Kopplungen (vgl. bspw. Dudenhöffer et al. 2006)⁴⁰ zwischen Infrastrukturen aus, (i) physische, (ii) informationstechnische (iii) räumliche und (über Dudenhöffer hinausgehend) (iv) organisatorische Kopplungen, so wird deutlich, dass die Trends auch auf die jeweilige Form der Kopplungen Einfluss nehmen. Die Entwicklung der ihrerseits immer enger gekoppelten Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) gewinnt zunehmend Bedeutung für die weiteren Infrastrukturen. IKT spielen eine zentrale Rolle für die Steuerung der Nutzung der Infrastrukturen im Sinne der Effizienz (auch mit Blick auf die Minderung der Umweltbelastungen). Die physischen Kopplungen der Infrastrukturen ergeben sich etwa durch die erwartete enge Verbindung von Verkehrsinfrastrukturen (e-Mobilität) und den Energieinfrastrukturen in Verbindung mit sogenannten „Smart Grids“. Räumliche Kopplungen haben vor allem mit Blick auf die Anpassung an den Klimawandel eine herausragende Bedeutung, wie es u.a. am Beispiel der Zunahme von Hochwasser- oder auch Hitzeereignissen deutlich wird, die sowohl Auswirkungen auf die Verkehrs- als auch die Energieinfrastrukturen haben können.

Die zunehmenden Abhängigkeiten zwischen Infrastrukturen werden insbesondere auch in den Diskursen zu den kritischen Infrastrukturen thematisiert, wobei vor allem auch die Bedeutung von IKT- und Energieinfrastrukturen betont wird. Zwar ist darauf zu verweisen, dass es sich hierbei nicht um ein völlig neues Phänomen handelt. Kopplungen von Infrastrukturen sind bereits gegenwärtig höchst relevant, wie bspw. die Analysen von Birkmann u.a. (2010) oder auch Petermann et al. (2010) deutlich gemacht haben. Neu ist allerdings, dass die Kopplungen unterschiedlicher Infrastruktursysteme eine zunehmende Bedeutung erfahren, wie es beispielsweise im Kontext der Energiewende und der Kopplung von Strom- und Verkehrssystem deutlich wird. Zudem ist eine zunehmende Durchdringung aller klassischen Infrastrukturbereiche durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und insbesondere dem Internet festzustellen.⁴¹ Der Nexus zwischen den Infrastrukturbereichen nimmt insofern deutlich zu und es ist vor dem Hintergrund der Erfordernisse des Ressourcenschutzes und

39 Zwischen den einzelnen Infrastrukturen bestehen zweifelsohne Unterschiede. Mit Blick auf die Entwicklung der Verkehrsinfrastrukturen spielt das Argument „Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung“ weiterhin eine essentielle Rolle. Mit Blick auf andere Infrastrukturen, wie bspw. Entwässerung (Klärwerke etc.) werden überhaupt erst die Möglichkeiten gesetzt, dass die weitere Entwicklung nicht durch massive Umwelt- und Hygieneprobleme begrenzt werden.

40 Die Kopplungen von Infrastrukturen werden vielfach auch deutlich komplexer dargestellt, so bspw. Rinaldi et al. (2001), die u.a. auch Zweit- und Drittrundeneffekte in den Blick nehmen. Für eine typisierende Betrachtung wie sie hier vorgenommen wird, ist diese Differenzierung gleichwohl hinreichend.

41 Die Abhängigkeiten der Infrastrukturen erhöhen sich damit deutlich: dies gilt dabei nicht allein durch die neuen Steuerungsansätze (IKT/Energie). Diese Abhängigkeiten sind auch im Kontext der Diskussionen um Klimaanpassung und die Vulnerabilitätsanalysen herausgearbeitet worden (u.a. Flüsse / Kühlung / Energietransporte etc.) Eine weitere Interdependenz ergibt sich daraus, dass ein Umsteuern im Sinne des Ziels „planetare Grenzen“ weitestgehende Herausforderungen an alle Infrastrukturen stellt, da diese, als Teil eines sozio-technischen Systems, eng miteinander verbunden sind.

notwendiger Effizienzsteigerungen zu erwarten, dass Infrastrukturen künftig zunehmend integriert entwickelt werden.⁴²

Der Annahme zunehmender Verknüpfungen zwischen Infrastrukturen stehen jedoch auch Entwicklungen gegenüber, die eine solche Kopplung erschweren. So hat in den letzten 20 Jahren insbesondere die Wettbewerbs- und Vergabepolitik der Europäischen Kommission dazu geführt, dass einzelne Sektoren liberalisiert wurden und einem Regulierungsregime unterworfen sind, das auf sektorbezogene Optimierung und strikte Spartenentrennung (Stichwort: Unbundling) statt auf Integration setzt. Hinzu kommt, dass die vorhandenen Infrastruktursysteme im bestehenden institutionellen Gefüge nur bedingt koppelbar sind. Der Ausbau des Wasser-Energie-Nexus beispielsweise kann dort auf Grenzen stoßen, wo dieser die Kernaufgabe des Infrastrukturbetreibers berührt. Der öffentliche Zweck eines Abwasserentsorgungsbetriebs beispielsweise ist die ordnungsgemäße Ableitung und Behandlung des durch Gebrauch verunreinigten Wassers. Ob ein erweitertes Geschäftsfeld auch darin liegen könnte, dass ein solcher Betreiber auch Energiedienstleistungen übernimmt, ist umstritten und stößt zudem auch an Kompetenzgrenzen. Für die Realisierung wird in der Regel die Kooperation mit einem lokalen Energieversorger notwendig sein. In jedem Fall aber erfordern technische Kopplungen neue Geschäftsmodelle.

4.2 Ko-Transformation und heterogene Dynamiken in Infrastruktursystemen

Die zunehmende Verknüpfung zwischen Infrastrukturen wirft die Frage auf, wieweit sich Infrastrukturen auch parallel transformieren. Auffällig an der gegenwärtigen Situation ist, dass sich die vorhandenen Systeme aufgrund der technologischen Entwicklung mit vorhandenen Alternativen, technisch-wirtschaftlichen Funktionsschwellen sowie neuen umweltpolitischen Anforderungen an der Schwelle zu einer Systemerneuerung und damit Transformation befinden. Allerdings sind die Dynamiken in den einzelnen Sektoren sehr unterschiedlich ausgeprägt und die Sektoren befinden sich z.T. in sehr unterschiedlichen Phasen ihres Lebenszyklus (vgl. Kapitel 2.2).

Im Bereich der Energieversorgung war es eine zentrale Vorbedingung für die Transformation, dass das bestehende sozio-technische System destabilisiert wurde (Liberalisierung, Maßnahmen der Energiewende, neue Technologien) und insbesondere die etablierten Versorger massiv an Einfluss verloren und neue Akteursgruppen an Einfluss gewonnen haben. Der Anstoß zum Wandel ist erfolgt und ermöglicht im Grundsatz eine Bandbreite von Gestaltungsoptionen.

Die dynamischen Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen sind der technologische Treiber für die zunehmenden infrastrukturellen Kopplungen und damit auch eine zumindest teilweise Anpassung von Systemdynamiken. Die führt einerseits zu Effizienzverbesserungen, wirft andererseits aber auch Fragen von Sicherheit und Resilienz (vgl. Kapitel 4.3) auf. In diesem Zusammenhang gewinnt in jüngerer Zeit das Konzept von „Smart Cities“ (z. B. Libbe 2014) rasant an Bedeutung. Hier geht es um die intelligente, ressourcenschonende und vernetzte Gestaltung von technischen Infrastrukturen und räumlichen Strukturen zur Steigerung der Lebensqualität der Gesellschaft. Dies in Verbindung mit Energieeffizienz, intermodaler Mobilität und digitaler Steuerung. IKT führt dabei zu veränderten Beziehungen von Räumen und Infrastrukturen.

Hingegen sind Ansätze der Transformation der Wasserver- und Abwasserentsorgung bislang wenig relevant. Überwiegend wird von den relevanten Akteuren darauf verwiesen, dass viele Dynamiken mit Blick auf diesen Bereich existieren. So wird im Wassersektor angemerkt, dass die Anpassung an den Klimawandel zwar ein wichtiges Themenfeld ist, eine umfassende Veränderung der relevanten Infra-

42 Beispielhaft sei auf die Idee der „eco-industrial parks“ (Kalundborg) verwiesen, deren aus Umweltsicht interessante Eigenschaft die Symbiose ist – gemeinsame Infrastrukturen ermöglichen eine enge Kopplung zwischen unterschiedlichen Produktionen.

strukturen aber zurzeit nicht vordringlich sei. Der Anpassungsdruck auf die Infrastrukturen in Deutschland ergibt sich gegenwärtig vor allem durch die Notwendigkeit der Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz sowie teils räumlich auch durch den demographischen Wandel.

4.3 Erforderliche Anpassung von Sicherheitsphilosophien

Veränderungsprozesse, die von „außen“ auf die Infrastrukturen einwirken und die Infrastrukturen einem Veränderungsdruck aussetzen, erfordern auch eine Anpassung der Sicherheitsphilosophien⁴³. Hierbei geht es nicht zuletzt darum, die Infrastrukturen klimarobust zu machen, um mit den Herausforderungen des Klimawandels (u.a. Zunahme von Extremereignissen) umgehen zu können. Die existierenden Sicherheitsphilosophien müssen, mit Blick auf die Verlässlichkeit der Infrastrukturen bzw. der Bereitstellung der Infrastrukturdienstleistungen, auf den Prüfstand gestellt werden.

In diesem Zusammenhang gilt es, weitere Trends und Dynamiken mit Blick auf die Entwicklung der Infrastrukturen zu berücksichtigen. Dabei ergeben sich vollkommen neue Herausforderungen. Erwähnt werden sollen hier allein vier Dynamiken, die einen wesentlichen Einfluss auf die Energieinfrastrukturen haben:

- ▶ Dezentralisierung und Heterogenität der Energieerzeugung
- ▶ Zunahme der Akteursvielfalt und der Governanceformen
- ▶ Fluktuation der Energieerzeugung
- ▶ Zunehmende Kopplung bislang getrennter (Infrastruktur-) Systeme.

Mit Blick auf die Notwendigkeit der Veränderung der Sicherheitsphilosophien ist insbesondere der letzte Aspekt, die zunehmende Kopplung der Infrastruktursysteme, von besonderer Bedeutung.

Einschlägige Studien zu den (möglichen) Effekten eines flächendeckenden und langanhaltenden Stromausfalls haben verdeutlicht, dass weitreichende Konsequenzen für letztlich alle weiteren Infrastrukturbereiche und der Infrastrukturdienstleistungen, von der Logistik über die Wasserver- und -entsorgung bis hin zu den Internetverbindungen, die Folge sind. Ebenso denkbar ist, dass ein Ausfall des Internets zu weitreichenden Folgen für die anderen Infrastrukturen hat (vgl. Petermann et al. 2010; BBK 2014)⁴⁴.

Die existierenden Sicherheitsphilosophien werden sich ändern müssen.⁴⁵ Zu beobachten ist in diesem Zusammenhang eine Blickwende von risikobasierten Ansätzen, mit dem Fokus auf mehr oder weniger bekannte Ursachen und Wirkungsbeziehungen hin zu Vulnerabilitäts- und Resilienzanalysen. Letztere fokussieren dabei vor allem auf die Eigenschaften des Systems, letztlich unabhängig von den Störeeignissen.

Risikobasierte Ansätze

Generell ist anerkannt, dass der Umgang mit Unsicherheiten im Kontext von Risikoanalysen eine große Herausforderung darstellt. Der Ansatz, der im Kontext der klassischen Risikoanalysen genutzt wird, um das Risiko eines Schadensfalls zu bewerten (Eintrittswahrscheinlichkeit mal der potenziellen Schadenshöhe) greift bei Unsicherheit bzw. „gar Nicht-Wissen“ nicht mehr.

Vulnerabilitätsanalysen

43 Eine Darstellung detaillierter Sicherheitsphilosophien kann an dieser Stelle nicht erfolgen, vielmehr wird auf einer sehr abstrakten Ebene auf die Herausforderungen eingegangen.

44 Es wird i.d.R. darauf verwiesen, dass der modulare Aufbau des Internet die Fehleranfälligkeit vermindert, zugleich ist aber auch festzustellen, dass die dezentrale Struktur des Internet nicht durchgängig aufrechterhalten werden kann, indem bspw. Unterseekabel höchst verletzlich sind und einige Knotenpunkte höchst vulnerabel sind.

45 Dazu existiert mittlerweile eine breite Literatur. Der folgende Text stützt sich u.a. auf Wachsmuth, J. (2014); Wachsmuth, J. et al. 2015 sowie Gößling-Reisemann et al. (2013).

Die Vulnerabilitätsanalysen, die im Kontext der Katastrophenforschung entwickelt wurden, haben im Rahmen der Klimafolgenforschung eine weite Verbreitung erfahren. Dabei werden die potenziellen Auswirkungen von Störereignissen analysiert und geprüft, sowie welche Anpassungskapazitäten dazu existieren. Vielfach wurden entsprechende Analysen in der Folge von Katastrophen bzw. Störereignissen durchgeführt. So haben beispielsweise Birkmann u.a. (2010) das Zustandekommen des Stromausfalls im Münsterland und die Wirkungsketten des Stromausfalls detailliert analysiert. Die bereits erwähnten Studien zu Stromausfällen (Petermann 2010 und BBK 2014) haben, ausgehend von einem weiträumigen und langanhaltenden Stromausfall, Wirkungsketten analysiert um die Verletzlichkeit abhängiger bzw. verbundener Systeme zu identifizieren und vor allem auch mit Blick auf Handlungsoptionen und Vorsorgeoptionen zu überprüfen (BBK 2014).

Resilienz

Die Diskussion um Resilienz basiert im Wesentlichen darauf, dass zunehmend anerkannt wird, dass nicht vorhergesehene oder nicht vorhersehbare Ereignisse eintreten können und damit neue Strategien entwickelt werden müssen.⁴⁶ Ein mittlerweile weit verbreitetes Leitbild zum Umgang mit Nicht-Wissen ist das des „resilienten Systems“, das von Holling mit Blick auf die Stresstoleranz von Ökosystemen entwickelt wurde und nunmehr als (normatives) Leitbild für die Gestaltung von Systemen genutzt wird. Die Diskussion um das Verständnis von Resilienz ist breit. Fischer (2015) systematisiert die wissenschaftliche Diskussion nach zwei Formen: (i) die Fähigkeit eines Systems nach Stress wieder in den Ausgangszustand zurück zu kommen („ability of a system to bounce back after stress“) (Dahm et al. 2014) und (ii) die Kapazität eines Systems sich anzupassen oder zu transformieren in Reaktion bspw. von extremen Schocks (the capacity of social–ecological systems to adapt or transform in response to unfamiliar, unexpected and extreme shocks“) (Carpenter u.a. 2012). Von Gleich et al. (2010: 25) verstehen unter Resilienz, insbesondere auch mit Blick auf die Energieinfrastrukturen die „Fähigkeit eines Systems, seine Dienstleistungen auch unter Stress und in turbulenten Umgebungen (trotz massiver äußerer Störungen und interner Ausfälle) aufrechtzuerhalten“. Ein zentrales Element der Diskussion um resiliente Systeme besteht vor allem darin, dass die Frage vom (technischen) System hin zur (System-) Dienstleistung gestellt wird. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass es letztlich eine gesellschaftliche Entscheidung ist, welche Dienstleistungen in welcher Qualität erbracht werden sollen: „Resilience of what and to what?“ (CSS 2015: 4).

Die Diskussion um resiliente Systeme oder auch resiliente Infrastruktursysteme ist auf der konzeptionellen Ebene hinreichend entwickelt, allerdings erweist sich die Umsetzung dieser Konzepte in die Praxis als voraussetzungsfull und ist, nach Einschätzung der Autoren in Deutschland, noch nicht weit entwickelt (vgl. dazu Thoma 2014).⁴⁷ Die Zusammenschau der internationalen Diskussion um Resilienz und resiliente Infrastrukturen dieser Autoren zeigt durchaus Ähnlichkeiten der Zugänge auf, die für die Infrastrukturdiskussion genutzt werden können.

Perrow kam in seiner Studie „Normal Accidents“ (Perrow 1988) zu dem Schluss, dass enge und starre Kopplungen von komplexen Systemen (bzw. zwischen komplexen Systemen) die Wahrscheinlichkeit von unvorhergesehenen bzw. auch unvorhersehbaren Ereignissen steigen lässt. Die Diskussion um Kaskadeneffekte in und zwischen Infrastrukturen baut auf diesen Erkenntnissen auf.

Wachsmuth (2014) verweist darauf, dass mit Blick auf das Energiesystem bereits frühzeitig Vorschläge entwickelt wurden, um mit diesen möglichen Kaskadeneffekten umzugehen und zwar durch die Gestaltungsoption „zellulärer Systeme“ wie sie bspw. von Lovins / Lovins (1982) entwickelt wurden.

46 Auch dieser Diskursstrang (Vorsorge/Umgang mit Nicht-Wissen) ist breit und kann an dieser Stelle auch nicht ansatzweise dargestellt werden.

47 Groß (2014) kritisiert, dass das Konzept Resilienz durch die immer breitere Einbeziehung von Tatbeständen inhaltsleer würde („kann es im Kern nur um Besitzstandswahrung und Erhalt des Status quo gehen, wenn der Begriff nicht jegliche Bedeutung verlieren soll“ S. 19)

Wachsmuth et al. (2015) nutzen das Leitbild eines zellulären Energiesystems für die Analyse der Transformation des Energiesystems.⁴⁸

Von Gleich (2013) verweist auf weitere Gestaltungskriterien (im Sinne von Sicherheitsphilosophien), die für die resiliente Gestaltung von Systemen anwendbar sind bzw. sein können.

Resilienz – Kriterien und Anforderungen an die Systemstrukturen (Gleich 2013)⁴⁹:

- ▶ Diversität der eingesetzten Ressourcen
- ▶ Redundanz zentraler Elemente
- ▶ Feed back loops (positiv/negativ)
- ▶ Speicher- und Pufferkapazitäten

Entsprechende Kriterien sind mit Blick auf das Energiesystem nicht völlig neu, so verweisen Wachsmuth et al. (2014) darauf, dass Teilelemente bereits zum Einsatz kommen (Leyens et al. 2012 und Lenz, S. 2009). Gleichwohl erweisen sich diese als höchst relevant, nicht allein mit Blick auf die Energiewende, sondern auch mit Blick auf die Anpassung von Infrastrukturen an den Klimawandel als auch mit Blick auf zukunftsfähige Infrastrukturen.

Libbe/Petschow (2014) identifizieren mit Blick auf Infrastrukturen folgende Dynamiken, die zumindest in Teilbereichen mit den Anforderungen an resiliente Systeme konform sind:

- ▶ Trend zu eher dezentralen Anlagen, Modularisierung und Flexibilisierung der Angebotsformen und damit Gebäude- oder quartiersbezogener Bereitstellung / Vernetzung
- ▶ Eine stärkere Parallelität von zentralen, semizentralen und dezentralen Strukturen
- ▶ Suche nach neuartigen Systemlösungen
- ▶ Trend zur Systemintegration und Multifunktionalität

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Herausforderungen an die Gestaltung der Infrastrukturen hoch sind. Neue Ansätze, die über die klassischen risikobasierten Ansätze hinausgehen, werden generell für erforderlich gehalten und werden handlungsrelevant. Die Diskussion um Sicherheitsphilosophien bei der Gestaltung von Infrastrukturen wird gegenwärtig überwiegend im Kontext des Diskurses um Resilienz von Infrastrukturen, insbesondere mit Blick auf kritische Infrastrukturen geführt. Gleichwohl ist gegenwärtig festzuhalten, dass kaum geeignete Methoden existieren um Resilienz zu quantifizieren (Thoma 2014: 90). Die Gestaltungselemente, wie sie v. Gleich (siehe oben) vorschlägt, sind zweifelsohne Kriterien für „Resilience Engineering“, ebenso können Gestaltungsvorstellungen, wie modularer Aufbau oder auch zelluläre Systeme als Orientierung für die Entwicklung künftiger Infrastruktursysteme dienen. Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass die Diskussion um (klima-) resiliente Infrastrukturen erst am Anfang steht.

48 Bei einem zellulären System werden eigenständige, selbstoptimierende und (über)regional miteinander verbundene Energiekreisläufe (Teilsysteme) auf Verteilnetzebene angestrebt.

49 Die Gestaltungskriterien, wie sie v. Gleich anführt, können zwar einen Beitrag zur Resilienz der Systeme leisten, gleichwohl ist auch festzuhalten, dass mit den jeweiligen Leitvorstellungen vielfältige Bedingungen verbunden sind. Mit Blick auf Redundanz hat dies bspw. Downer (2009) deutlich gemacht, indem er bspw. darauf verweist, dass zusätzliche Redundanz auch zu einer Komplexitätserhöhung des jeweiligen Systems beitragen kann, was wiederum die Verlässlichkeit des Systems reduzieren kann.

II. Leitbild und Prinzipien für zukunftsfähige und klimaresiliente Infrastrukturen

In diesem Abschnitt wird eine Bestandsaufnahme und Positionsbestimmung vorgenommen. In der Bestandsaufnahme geht es vorrangig um die Funktionen von Leitbildern im Allgemeinen und ihre Bedeutung für (technische) Infrastrukturen im Besonderen. Hierzu wurde eine umfassende Auswertung einschlägiger Literatur und Fallbeispiele unternommen. Damit verbunden war im Weiteren die Frage, was bei der Genese und Umsetzung von Leitbildern besonders zu beachten ist, warum sie also entstehen, worauf die aufbauen und wie sie umgesetzt werden.

Die Positionsbestimmung versucht eine Verortung eines Leitbildes zu zukunftsfähigen und klimaresilienten Infrastrukturen. Deutlich wird, dass Infrastrukturen bestimmte, gesellschaftlich notwendige Grundfunktionen erfüllen, die ihre jeweilige zeitgemäße Interpretation erfahren müssen. Ihre Funktion als Grunddienstleistung für Wirtschaft und Gesellschaft ist heute nicht mehr ohne eine Orientierung am Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung denkbar. Dabei sollte die Art und Weise der Erbringung der infrastrukturellen Dienstleistung stets so erfolgen, dass ihre Grundfunktion auch unter veränderten Umfeldbedingungen nicht gefährdet wird. In diesem Zusammenhang hat die Frage der Resilienz gerade auch in Forschungs- und Politikfelder zu Infrastrukturen ihren Eingang gefunden. Die Zukunftsfähigkeit von Infrastrukturen bedeutet, nicht nur nach der Absicherung vorhandener Infrastrukturen sondern auch nach ihrer notwendigen Weiterentwicklung und ggf. Transformation zu fragen. Was Resilienz dabei jeweils bedeutet, kann abstrakt durch eine Reihe grundlegender Prinzipien zum Ausdruck gebracht werden. Praktisch bedürfen diese jedoch, ausgehend vom übergeordneten Leitbild, der fachübergreifenden Interpretation im konkreten Kontext.

Abschließend wird ein Leitbild für zukunftsfähige und klimaresiliente Infrastrukturen formuliert und mit Prinzipien unterlegt. Dieses Leitbild kann und sollte im Rahmen übergeordneter Nachhaltigkeits- und Umweltdiskurse weiterentwickelt werden

1 Leitbilder – Definition, Rolle und Funktionen

Leitbilder besitzen in Prozessen strategischer Planung eine lange Tradition. Ebenso lang ist die Auseinandersetzung über das Für und Wider von Leitbildern, ihren Funktionen und Grenzen sowie der Art und Weise ihrer Erstellung und Umsetzung. Der Spannungsbogen reicht von vollkommener Ablehnung von Leitbildern bis hin zu einer (technokratischen) Gläubigkeit der Verheißung von Leitbildern auf Erfolg. Das Verständnis von Leitbildern ist dabei einem historischen Wandel unterworfen. Weniger als dem Leitbild an sich wird heute dem Prozess der Leitbildgenese und Umsetzung die zentrale Bedeutung zugemessen.

1.1 Was ist ein Leitbild?

Leitbilder werden in sehr unterschiedlichen Zusammenhängen entwickelt. Entsprechend breit ist das Verständnis darüber, was unter einem Leitbild zu verstehen ist, zumal auch die Definition des Begriffes 'Leitbild' einem steten Wandel unterworfen sind (vgl. zum Begriff Kuder 2001: 27-63). Hinzu treten andere Begriffe, die häufig mit Leitbild gleich gesetzt werden, wie beispielsweise Grundsätze, Leitgedanke, Leitlinie sowie Leit- oder Zielvorstellung. Diese Begriffe werden vielfach eher alltagssprach-

lich denn wissenschaftlich gebraucht und bringen verschiedene Ausprägungen eines ähnlichen, normativ geleiteten Denkens zum Ausdruck.⁵⁰

Der Anspruch, mit dem Leitbilder und deren Inhalte vertreten werden, kann sehr unterschiedlich sein - von eher ideellen, an grundlegenden Wertentscheidungen orientierten Leitbildern (Weltbilder), über konzeptionelle Leitbilder (Leitkonzepte), die problem- und zielorientiert Richtungsentscheidungen vermitteln, bis hin zu einem gestaltungsorientierten Leitbild (Gestaltungsleitbild) mit konkreten Konstruktionsprinzipien und Handlungsanleitungen.⁵¹ Weltbilder weisen i.d.R. einen hohen Grad an Abstraktion auf und können als faktische und normative Vorstellungen von Natur, Technik, Gesellschaft etc. mit Vergangenheits-, Gegenwarts- oder Zukunftsbezug verstanden werden (vgl. Huber 1989), wie z. B. Vorstellungen von einem „Leben im Einklang mit der Natur“ oder von einer „guten Technik“. Leitkonzepte sind dagegen weniger abstrakt. Als Richtungsentscheidung kann z. B. das Streben nach einem „nachhaltigen System“ oder einem „resilienten System“ bezeichnet werden. Die eher handlungsorientierten Gestaltungsleitbilder beschreiben z. B. „redundante Systeme“ ein „resilientes System“ näher.

Allerdings sind diese Abgrenzungen fließend und die Verortung des jeweiligen Leitbildes in die jeweilige Kategorie vielfach nicht eindeutig zu treffen. Der Kontext der Leitbildverwendung dürfte die Zuordnung maßgeblich beeinflussen. Zugleich dürfte es aber wichtig sein, bei einer gestalterischen Verwendung eines Leitbildes sich der dahinterliegenden konzeptionellen und wertenden Orientierungen zu vergewissern.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass ein Leitbild eine generelle Orientierung für menschliches Handeln und Gestalten darstellt. Diese Orientierung kann sich dabei sowohl auf die Gesellschaft als Ganzes, gesellschaftliche Teilsysteme oder spezifischer auch auf einzelne Organisationen und deren Entwicklung (typisch: Unternehmensleitbilder) beziehen. In einem Leitbild können dabei ganz unterschiedliche Sachverhalte zusammengefasst werden.

Leitbilder können von ihren Einsatzfeldern her sowohl rückblickend (i.S. des analytischen Rückblicks welche Leitbilder welche Auswirkungen gehabt und Entwicklungen geprägt haben), vorausschauend (i.S. einer Wirkungsabschätzung) oder gestaltend (also des auch konstruktiven Einsatzes von Leitbildern) verwendet werden (vgl. bezogen auf Leitbilder in der Technikforschung Giesel 2007). Im anwendungsorientierten Kontext von Leitbildern geht es zumeist um die auf die Zukunft gerichtete Prägekraft von Leitbildern.

Ein Leitbild dient dazu, kollektiv geteilte Vorstellungen oder Projektionen für angestrebte Ziele abzubilden. Diese Projektionen sind nicht mit starren normativen Regeln zu verwechseln. Leitbilder müssen stattdessen (immer wieder neu) ausgehandelt werden, weil sie ohne konsensuale Grundlage keine handlungsleitende Funktion erreichen können. Sie dienen nicht nur der Orientierung sondern in einem zeitgemäßen Verständnis vor allem der Koordinierung von Akteuren. Insofern handelt es sich bei Leitbildern um geteilte mentale Repräsentationen i.S. verbaler und/oder bildlicher Darstellungen eines angestrebten Zielzustandes, die an politisch gesetzte Themenstellungen anknüpfen.

Mit der oben skizzierten Differenzierung bzw. Abgrenzung von Leitbildern ist nichts über deren Wirkung und Reichweite gesagt. Ein sehr unscharfes, gleichwohl eine normative Orientierung überzeugend vermittelndes Leitbild kann weit mehr und dauerhafter Ausstrahlung besitzen als eines, das bereits differenziert das spätere Handeln zu prägen sucht. Die muss nicht, kann aber gleichwohl dann der Fall sein, gerade wenn die gestalterische Präzisierung einer allgemein anerkannten Gültigkeit eines Leitbildes im Wege steht gerade weil die dahinter liegenden Orientierungen verloren gehen. Umge-

50 Eine andere Begrifflichkeit wie „imaginaries“ (Janasoff / Sang-Hyun 2015), die im englischen Sprachraum verwendet wird, besitzt durchaus Ähnlichkeiten mit Leitbildern.

51 Vgl. zu dieser Differenzierung, die auch im Transformationsdiskurs eine Rolle spielt, Gleich u.a. 2010: 132

kehrt heißt dies, dass die Unbestimmtheit eines Leitbildes offene Aushandlungsprozesse und letztlich Konsens über das Leitbild erst ermöglicht (vgl. Gleich u.a. 2010: 138). Anders formuliert: Leitbilder mit Handlungsanleitungen erscheinen dann sinnvoll, wenn es zwischen den Beteiligten bzw. Adressaten einen Grundkonsens gibt; muss letzterer jedoch erst einmal hergestellt werden, erscheinen eher unscharfe Leitbilder zielführender.

1.2 Funktionen von Leitbildern

Jedes Leitbild dient im Kern dazu, eine Strategie des Umgangs mit Komplexität und divergierenden Sichtweisen oder Interessen zu entwickeln und letztlich rationale Entscheidungen zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang übt ein Leitbild zwei Funktionen aus, die semantisch bereits im Begriff angelegt sind: Die *Leitfunktion*, die das leitende Motiv und Motiv und das Ziel zum Ausdruck bringt. Zum anderen die *Bildfunktion*, die Assoziationen über das zum Ausdruck bringt, was sich allein mit dem Wort nicht fassen lässt (vgl. Dierkes u.a. 1992, S. 41–58):

Die Leitfunktion

Leitbilder üben eine Leitfunktion dort aus, wo sie einen Bezugsrahmen herstellen, innerhalb dessen sich die beteiligten Akteure gemeinsam ausrichten können. Dieser Bezugsrahmen ist dort gegeben, wo es Leitbilder ermöglichen, gemeinsame Ziele zu definieren, Prioritäten ausdrücken oder gemeinsames Handeln zu normieren. Für Dierkes u.a. (1992) drückt sich dies in einer kollektiv geteilten Projektion am Schnittpunkt von künftig Wünschbaren und künftig Machbaren aus. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach dem Zeithorizont eines Leitbildes. Orientiert sich ein Leitbild nur am für die Akteure überschaubaren Zeitraum, ist seine Orientierungsfunktion unter Umständen stark eingeschränkt. Da sich das aus Sicht der Akteure künftig Wünschbare und Machbare stets vom gegenwärtig Wünschbaren und Machbaren her definiert, liegt die Gefahr des „zu kurz Springens“ jedem Leitbild inne. Ein Leitbild jenseits des Schnittpunkts von Wünschbarkeit und Machbarkeit hingegen wird seine Leitfunktion insofern verfehlen, als zwar etwa als machbar, jedoch nicht wünschbar bzw. wünschbar aber (nach gegenwärtigem Wissensstand) nicht machbar projiziert würde. Insofern unterliegt die Leitfunktion dem typischen Problem jeder langfristigen Orientierung: der Unmöglichkeit, längerfristig überhaupt verlässliche Aussagen treffen zu können, bei dem gleichzeitigen Wissen, dass Entscheidungen unter Umständen eine enorme zeitliche Reichweite besitzen (was insbesondere bei infrastrukturellen Planungen der Fall ist (vgl. Libbe 2007 und 2015 a)).

Wie eingangs erwähnt, werden in einem Leitbild häufig ganz unterschiedliche Sachverhalte zusammengefasst. Hier geht es auch um die Zusammenführung unterschiedlichen Wissens der beteiligten Akteure bzw. der Zusammenführung von Wissenskulturen. D.h. vor der Entwicklung des eigentlichen Leitbildes steht die synchrone Voradaptation (Dierkes u.a. 1992) der Akteure i.S. der gemeinsamen Sensibilisierung für das Thema um spätere Reibungsverluste oder Konflikte zu minimieren.

Die Zusammenführung unterschiedlicher Wissenskulturen bedeutet - typisch für jede fachübergreifende Zusammenarbeit - stets auch die Verbindung unterschiedlicher Sprachen, Standards, Normen etc. Sofern in Leitbildprozessen neue mögliche Technologien, transformative Entwicklungen etc. aufgegriffen werden, können sie zugleich das funktionale Äquivalent (Dierkes u.a. 1992) für die spätere (technische aber auch institutionelle oder organisatorische) Adaption darstellen.

Die Bildfunktion

Leitbilder üben eine Bildfunktion aus, indem sie über die Bebilderung von Zielen oder durch anschauliche Beispiele das angestrebte Leitbild möglichst kraftvoll unterlegen und so eine Vorstellung (Imagination) vermitteln. So lässt sich auch ein durch ein neues Leitbild angezeigter Paradigmenwechsel anschaulich machen. Auch hier sei noch mal an Unterteilungen von Dierkes u.a. (1992, S. 52–58) erinnert: Die Bildfunktion eines Leitbildes soll das Denken in eine bestimmte Richtung aktivieren (kognitiver Aktivator) und dabei quasi als Katalysator wirken. Diese aktivierende Funktion ist gerade dort wichtig, wo die Leitbildentwicklung nicht nur in einem engen kulturellen und räumlichen Rahmen stattfindet, sondern in einem erweiterten Netzwerk mit u. U. gänzlich anderen Wissenskulturen erfolgt (vgl. Kuder 2001: 118). Zugleich kann über eine gut ausgefüllte Bildfunktion oder auch ein Narrativ⁵² die individuelle Emotion angesprochen werden (personeller Mobilisator). Hier deutet sich die auch suggestive und manipulative Kraft von Leitbildern an. Ferner soll über die Bildfunktion die Zusammenarbeit von Akteuren stabilisiert sowie die mit der Zusammenführung unterschiedlicher Wissenskulturen verbundenen Spannungen abgemildert werden (interpersoneller Stabilisator).

1.3 Leitbilder in Bereichen mit infrastrukturellem Bezug

Leitbilder finden in ganz unterschiedlichen Bereichen ihre Anwendung. Bezogen auf Infrastrukturen sind dabei gleichermaßen Technikleitbilder, Staatsleitbilder, Leitbilder der Stadt- und Raumentwicklung, Branchen- und Unternehmensleitbilder sowie explizite Infrastrukturleitbilder relevant:

- ▶ *Technologieleitbilder* sind Gegenstand der Technikgeneseforschung, die danach fragt, ob und wie weit sich die (zunächst grundlagenorientierte) Technologie- und technische Systementwicklung an Leitbildern (i.S. dahinter liegender Weltbilder) orientiert. Sie sucht letztlich analytisch-retrospektiv zu erfassen, ob technologische Innovationen durch Wertsetzungen beeinflusst werden und wieweit sich technische Entwicklung über diese Wertsetzungen steuern lässt (etwa Dierkes u.a. 1992).
- ▶ *Staatsleitbilder* bringen ein grundlegendes Staatsverständnis zum Ausdruck. Jüngstes Beispiel für ein solches Staatsleitbild ist jenes vom Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) in seinem Hauptgutachten aus dem Jahr 2011 formuliertes Leitbild des „gestaltenden Staats“, der pro-aktiv Prioritäten setzt und Weichen für die Transformation stellt und der zugleich neue Partizipationsmöglichkeiten im Sinne von Willensbildung und Kooperation für seine Bürgerinnen und Bürger vorsieht. Dieses dem Handeln des Staates im Zeitalter der „Großen Transformation“ (WBGU 2011) zugrundeliegende Verständnis knüpft an die in den vergangenen knapp 20 Jahren aufgekommenen Leitbilder des schlanken, moderierenden, aktivierenden, kooperativen oder gewährleistenden Staates an, welche ihrerseits ergänzend oder konkurrierend zu Leitbildern wie jenen des Ordnungs- und Hoheitsstaates oder des leistenden beziehungsweise produzierenden (Sozial- oder auch Erfüllungs-)Staates getreten sind. Mit Staatsleitbildern eng verbunden sind jeweils unterschiedliche und auch einander widersprechende politische Agenden, nicht zuletzt auch bezogen auf die Frage, für welche infrastrukturellen Grunddienstleistungen der Staat verantwortlich sein sollte und wie die Leistungserbringung zwischen den Polen Staat und Markt erbracht werden sollte.
- ▶ *Raumentwicklungspolitische Leitbilder* bringen ebenso wie Staatsleitbilder bestimmte ordnungspolitische Vorstellungen zum Ausdruck. An erster Stelle sind politische Ziele als Beispiele für Leitbilder auf der Ebene der EU oder des Bundes und gegebenenfalls auch der

52 In seinem Gutachten „große Transformation“ hat der WBGU (2011) auf die Relevanz von Narrativen verwiesen, indem die Verbreitung „einer anderen Erzählung“ ein wichtiger Bestandteil der Transformation sei.

Länder zu nennen. Diese wirken auf die konkreten Entscheidungen auf nachgeordneten Ebenen ein. In welchem Umfang dies der Fall ist und inwieweit die Leitbilder zeitgemäß sind, ist dabei regelmäßig umstritten. Ein Beispiel ist das fundamentale Leitprinzip der „Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse“ (Art. 72 GG), das maßgeblich für Raumordnung und Regionalpolitik ist. Es erfährt nicht zuletzt über das System bzw. Konzept der „Zentralen Orte“ den Bezugsrahmen für raumrelevante Einrichtungen der Daseinsvorsorge mit dem Ziel einer gleichmäßigen Grundversorgung in allen Teilräumen. Auf europäischer Ebene drückt sich dies im Leitbild des wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalts aus. Diese Leitbilder sind verbunden mit Anforderungen an die Dienstleistungen von Infrastrukturen von allgemeinem (wirtschaftlichen) Interesse (Daseinsvorsorge), die universell, kontinuierlich, qualitativ hochwertig und erschwinglich in allen Regionen der EU zur Verfügung stehen sollen. Weitere Entwicklungsziele werden im Rahmen der Regionalplanung definiert. Fragen der Infrastrukturentwicklung wurden in den vergangenen zwei Jahrzehnten insbesondere im Kontext des demografischen Wandels thematisiert; dies sowohl im Hinblick auf eine angemessene Interpretation von regionalen Versorgungsstandards, als auch im Hinblick auf notwendige Kapazitäten und Kompetenzen bei den Entscheidungsträgern.

- *Stadtentwicklungspolitische und städtebauliche Leitbilder* haben eine lange Tradition, wie die zahlreichen historischen Leitbilder der Stadtentwicklung (vgl. Fürst u.a. 1999) zeigen. Diese Leitbilder beziehen sich insbesondere auf die baulich-räumliche Entwicklung, suchen aber auch auf andere als relevant erkannte ökonomische, soziale und ökologische Entwicklungsprozesse miteinander in Einklang zu bringen. Das heißt, Städte nutzen Leitbilder sowohl zur Strukturierung des Raumes als auch zur Klärung grundlegender Entwicklungsperspektiven. Dies heute auch im nationalen, europäischen sowie globalen Wettbewerb und Netzwerk. Gerade in wettbewerbspolitischer Hinsicht sind Leitbilder auch ein Instrument des Stadtmarketings. Stadtentwicklungspolitische und städtebauliche Leitbilder adressieren regelmäßig auch direkt oder indirekt städtische Infrastrukturen, indem sie bestimmte Netzfunktionen (z. B. Sicherung der Verkehrsanbindung) zuweisen oder spezifische Ziele formulieren (etwa zur CO₂-Neutralität). Neben diese übergeordneten Leitbilder können spezifische Leitbilder einzelner Fachdezernate treten, die sich auf Themen wie Verwaltungsmodernisierung, energetische Stadtsanierung u.ä. beziehen.
- *Branchen- und Unternehmensleitbilder* spiegeln quasi die unternehmerische Philosophie wider. Während Branchenleitbilder das Selbstverständnis der vertretenen Unternehmen dokumentieren, werden in Unternehmensleitbildern die Vorstellungen, Werte, langfristigen Ziele und Richtlinien für den Umgang mit Kunden, zwischen Mitarbeitern oder innerhalb der Unternehmenshierarchie formuliert. Solche Leitbilder können sich auch auf einzelne Infrastrukturbranchen (Beispiel: Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft) oder einzelne Infrastrukturbetreiber (beispielsweise ein Stadtwerk, ein Verkehrsbetrieb oder ein Entwässerungsbetrieb) beziehen.

Mit dieser Unterteilung ist auch angedeutet, dass Leitbilder auf unterschiedlichen Ebenen angesiedelt sein können. Verortet man beispielsweise Staatsleitbilder auf der Makroebene, so wirken diese sich entsprechend auf unterschiedliche Politikfelder (Energiepolitik, Verkehrspolitik usw.) aus und nehmen Einfluss auf Politikarenen (vgl. Libbe 2015b), können also dort auf der Mesoebene ebenso ihre Ausstrahlung entfalten wie auf der Mikroebene etwa eines Versorgungsunternehmens.

1.4 Grenzen von Leitbildern und Leitbildprozesse

Leitbildkonzepte wurden in der Vergangenheit immer wieder hinterfragt. Kritik bezog sich dabei regelmäßig auf den Steuerungsanspruch, der nicht selten mit Leitbildern verknüpft wird. So wurde beispielsweise Dierkes u.a. (1992) vorgeworfen, sie würden mit Technologieleitbildern eine Möglichkeit offerieren, den technischen Gang frühzeitig zu steuern und nicht intendierte Folgen zu vermeiden.

Hellige kritisiert, dass auf diese Weise das Konzept überfrachtet würde: "Leitbilder erhalten so zugleich retrospektiv-analytische, normativ-handlungssteuernde und dann noch prognostische Funktionen im Sinne einer vorausschauenden Technikfolgenbeseitigung." (Hellige 1996: 29). Der Stellenwert von Leitbildern in der Raumentwicklung ist ebenfalls regelmäßig Gegenstand kontroverser Auseinandersetzung (vgl. z. B. ARL 2014). Als normative Orientierungspunkte tragen sie zur Verständigung über Zielkorridore der Entwicklung bei, bleiben dabei in ihrer Wirkung auf die Planungspraxis aufgrund ihres notwendigen Abstraktionsgrades begrenzt. Auch stadtentwicklungspolitische Leitbilder haben wiederholt eine kritische Überprüfung erfahren. In den ersten Nachkriegsjahrzehnten waren sie durch einen auf autoritären und zugleich reformistischen Machbarkeitsvorstellungen basierenden Planungs- und Steuerungsoptimismus der städtebaulichen Moderne geprägt, der jedoch bereits Ende der 1960er zunehmend erschüttert wurde. Ursächlich hierfür waren fehlende Antworten auf Fehlentwicklungen in den Städten, nicht mehr akzeptierte Leitbildinhalte („autogerechte Stadt“) sowie Forderungen nach mehr Beteiligung und Mitsprache der Bürgerinnen und Bürger. Es folgte eine Phase inkrementalistischen, einzelfallbezogenen Planens, die jedoch als wenig perspektivisch und zu wenig innovativ kritisiert wurde, weshalb Leitbilder letztlich doch wieder eine Renaissance erfahren haben und bis heute zum festen Repertoire planerischen Handelns gehören (ausführlich Kuder 2001: 64-97). Dabei ist heute eine große Pluralität an Leitbildern zu konstatieren, die letztlich auch spezifische Eigenarten von Städten zum Ausdruck bringen.

Die Annahme, mittels eines Leitbildes angestrebte Entwicklungen quasi setzen zu können, ist in einer freiheitlich verfassten und marktwirtschaftlich orientierten Gesellschaft nicht haltbar. Leitbilder besitzen keine autonome Existenz und sollten keinen partikularen Interessen dienen. Sie lassen sich nicht einfach Top-down setzen und damit quasi künstlich etablieren. Sie sind selbst gesellschaftlichen Wandelprozessen unterworfen und damit u. U. auch Zwischen- oder Modifikationsstufen unterworfen. Hinzu kommt, dass konkrete Entscheidungen über Technologien, räumliche Entwicklungen usw. sich empirisch kaum schlüssig allein auf ein bestimmtes Leitbild allein zurückführen lassen.

Leitbilder sind zudem regelmäßig schillernd, bringen sie doch einen bestimmten Wandel gegenüber früheren Vorstellungen zum Ausdruck. Zugleich sind sie aber naturgemäß auch unscharf. Diese Unschärfe rührt daher, dass sich zwischen der normativen Aufgeladenheit eines Leitbildes und ihrem tatsächlichen Inhalt regelmäßig eine Lücke klafft. Liegen die im Leitbild zum Ausdruck kommenden Vorstellung und die tatsächliche (politische) Gestaltung zu weit auseinander, droht jedes Leitbild unweigerlich seine Relevanz zu verlieren.

Die Wirkung eines Leitbildes hängt stark davon ab, wie konkret sich Akteure damit identifizieren können. Je konturloser ein Leitbild, desto schwieriger entfaltet sich u. U. ihre handlungsleitende Wirkung, desto geringer die gleichermaßen von allen Akteuren anerkannte Gültigkeit. Damit ist nicht die stabilisierende und synchronisierende Wirkung gemeinsam geteilter und bildhafter Vorstellungen infrage gestellt, wohl aber die Annahme, mittels eines Leitbildes ließen sich Entwicklungen vollends determinieren.

Damit kommt dem Leitbildprozess eine besondere Bedeutung zu. Hiermit ist sowohl der Prozess der Leitbildentwicklung wie auch der Prozess der Leitbildimplementierung (und damit die Frage, wie passfähig ein Leitbild ist) gemeint.

1.4.1 Leitbildentwicklung

Leitbilder können gleichermaßen technokratisch und top-down gesetzt (mit dem Risiko fehlender Akzeptanz) oder partizipativ und bottom-up (mit entsprechendem Aufwand und der Verwendung von Methoden der Zukunfterschließung) entwickelt werden. Die Leitbildentwicklung ist dabei mit dem jeder Vorausschau und Planung innewohnende Zukunfts dilemma (vgl. z. B. Libbe 2007, Libbe 2015 a) konfrontiert, also dem Sachverhalt, dass Zukunftsvorstellungen vom Gegensatz zwischen faktischem, empirisch gestütztem Wissen und Wertungen geprägt sind. Faktisches Wissen beruht dabei auf Prog-

nosen, die desto mehr mit Unsicherheit behaftet sind, je weiter diese in die Zukunft reichen. Wertungen hingegen beziehen sich darauf, wie die Zukunft sein soll und tragen einen Gestaltungsoptimismus in sich. Dabei besteht immer das Risiko, dass Nebenfolgen bzw. Probleme zweiter Ordnung, die mit Zukunftsentwürfen und -planungen einhergehen, nicht erkannt werden. Dies gilt vor allem dann, wenn kurzfristige Entscheidungszwänge mit langfristigen Entscheidungsfolgen einhergehen.

In Hinblick auf die Leitbildentwicklung besteht mittlerweile ein weitgehender Konsens dahin gehend, dass es Formen des sozialen Lernens und der Partizipation bedarf, über die die handelnden Akteure in die Lage versetzt werden, in entsprechende Verfahren zu antizipieren, welche Wirkungen mit bestimmten Entscheidungen verbunden beziehungsweise welche potenziellen Störungen oder Gefährdungen zu berücksichtigen sind. Insbesondere die Szenariotechnik als Instrument einer partizipativen Leitbildentwicklung kann helfen, die verschiedenen Wertesysteme und Wunschvorstellungen unterschiedlicher Akteure explizit zu machen und die Schnittmenge gemeinsamer Wünsche und realisierbarer Potentiale zu extrahieren. Ausgehend von einer gemeinsamen Ausgangsbestimmung lassen sich Entwicklungskorridore ausloten, die zugleich kohärent zum eigenen Wertesystem sind. So angewendet bieten Szenarien und andere Methoden der Zukunfterschließung jene Konkretisierung, die einem rein abstrakt gesetzten Leitbild-Begriff fehlen würde.

Mit Hilfe der Szenario-Technik lassen sich also Korridore denkbarer Entwicklungen ausloten. Im Nachhaltigkeitsdiskurs wird zudem mit dem Begriff der Leitplanken operiert. Leitplanken sollen den Korridor in dem Sinne begrenzen, dass ökonomische, ökologische oder soziale Tragfähigkeitsgrenzen nicht überschritten werden und eine nachhaltige Entwicklung möglich ist.

1.4.2 Leitbildimplementierung

Weit schwieriger hingegen gestalten sich der Prozess der Leitbildimplementierung und damit auch die Kommunikation des Leitbildes über den engen Kreis der Leitbildgestalter hinaus. Nicht zuletzt im Bereich der städtebaulichen Leitbilder sind die Beispiele des (vermeintlichen) Scheiterns von Leitbildern mittlerweile Legende. Damit ist nicht gesagt, dass Leitbilder nicht ihre Funktionen ausüben würden. Nur ist die Wirkung eines Leitbildes in der Praxis in der Regel schwer zu messen und manch ein Erfolg stellt sich erst langfristig ein, wobei die Kausalität selten eindeutig ist.

Jedoch können Leitbilder durchaus sehr dominant und damit wirkungsmächtig sein. Dies gilt nicht zuletzt für Leitbilder auf der Makroebene. Versteht man etwa die „Charta von Athen“ (1933) als ein solches dominierendes Leitbild, so hat dieses die Stadtstrukturen durchaus dramatisch verändert. Ausgehend von damals als problematisch angesehenen Wohnverhältnissen in den Städten (Hygiene, Luft) wurde ein Leitbild dagegen gesetzt, welches auf eine Entflechtung städtischer Funktionsbereiche abzielte und damit städtische Strukturen maßgeblich geprägt hat, beispielsweise durch den massiven Ausbau von Verkehrsinfrastrukturen (insbesondere des Straßennetzes). Die Wirkungen dieses Leitbildes zeigen sich bis heute und in globaler Perspektive (siehe etwa den Städtebau in China) scheint diese urbane Vision ungebrochen. In Europa hingegen hat ein Wandel stattgefunden, der spätestens mit der Charta von Aalborg (1994) und damit verbunden der Orientierung „Stadt der kurzen Wege“ ein neues Manifest gefunden hat. In ganz ähnlicher Weise lässt sich das Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ begreifen, dass infolge der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Jahr 1992 eine enorme Wirkung entfaltet hat und wiederum Leitbilder in ganz unterschiedlichen Bereichen prägt. Die Allgemeingültigkeit von Leitbildern hat ganz offensichtlich mit für die Menschen als bedrohlich erkannten Problemlagen zu tun, für deren Lösung neue und anschlussfähige Orientierungen gesucht werden. Insofern setzen Leitbilder auf gesellschaftlichen Entwicklungstendenzen auf und die Leitbildentwicklung erfolgt in Auseinandersetzung mit gesellschaftlichen Problemlagen.

Die Diffusion eines neuen Leitbildes ist dabei ein länger andauernder Prozess bei dem insbesondere auch die Bildfunktion entscheidend für den Wettstreit mit (älteren) konkurrierenden Leitbildern ist.

1.4.3 Voraussetzungen für eine erfolgreiche In-Wert-Setzung von Leitbildern

Leitbildern der Gegenwart muss letztlich ein gewisser widersprüchlicher Charakter zugesprochen werden. Einerseits können Leitbilder sehr wirkungsmächtig sein, andererseits können Leitbilder, die an konkreten Planungsproblemen ansetzen, nur mit einer begrenzten Gültigkeit versehen sein. Entscheidend ist, wie gezeigt, zunächst einmal die Art und Weise ihrer Genese, indem Leitbilder einen breiten Konsens gemeinsamer Orientierung darstellen. In einer Phasenheuristischen Betrachtung (vgl. Kuder 2001: 98) basieren Leitbilder dabei auf Problemerkennung, Lösungssuche (die „richtige“ Leitorientierung) und Konsens. Dem folgen die Umsetzung und letztlich auch die (laufende) Überprüfung der Passfähigkeit des Leitbildes. Verantwortliches Handeln kommt ohne kritische und reflexive Prozesse nicht aus, sollen auf einem breiten Konsens basierende Orientierungen gewonnen und umgesetzt werden. Damit die Leitfunktion trägt, sollte das Leitbild so angelegt sein, dass es über einen gewissen Zeitraum trägt. Dabei besteht die Gefahr, dass Leitbilder in Erstarrung und Dogmatismus abrutschen. Insofern ist der prozessuale Charakter im kooperativen Netzwerk und unter Zusammenführung von Wissenskulturen elementar, sollen Leitbilder ihre Dynamik und damit letztlich auch ihre Akzeptanz nicht verlieren (vgl. Kuder 2001: 119 f). Zugleich erscheint die Wirkung von Leitbildern unsicher. Hieraus nun den Schluss zu ziehen, besser auf Leitbilder zu verzichten, würde letztlich auf Deregulierung und den Verzicht auf staatlicher bzw. planerischer Steuerungsansprüche hinaus laufen. Dies erscheint nicht nur aufgrund der damit verbundenen Verschiebung gesellschaftlichen Kräfteverhältnisse unbefriedigend sondern auch deshalb, weil damit strategisch angelegte innovationsfördernde Gestaltungsmöglichkeiten aufgegeben würden.

Wie lässt sich nun ein Leitbild erfolgreich umsetzen? Über die bisher getroffenen Aussagen hinaus erweisen sich in der Praxis die folgenden Aspekte regelmäßig als zentral:

- ▶ **Schlüsselakteure:** Auch wenn, wie erwähnt, Leitbilder kollektiv geteilte Projektionen wünschenswerter Zustände darstellen und damit einer Aushandlung bedürfen, so ist es doch wichtig, dass einzelne Akteure eine richtungsweisende Funktion übernehmen. Bei solchen Schlüsselakteuren handelt es sich regelmäßig um solche Organisationen, Personen oder ggf. auch Netzwerke, die einen signifikant höheren Einfluss auf die Durchsetzung haben (vgl. hierzu auch Fichter u.a. 2010). Ihre Durchsetzungsstärke bzw. ihre Möglichkeiten der Promotion können dabei gleichermaßen auf Macht, guter Fachlichkeit, der Fähigkeit Prozesse zu organisieren oder guter Netzwerkarbeit basieren.⁵³ Personell heißt dies, dass es Personen mit guter Reputation bedarf, die sich des Themas aktiv annehmen und dieses auch innerhalb der Organisation tragen.
- ▶ **Top down und Bottom up zugleich:** Der Verweis auf die Schlüsselakteure verdeutlicht, dass es für das Leitbild gleichermaßen zentraler (hierarchischer) Impulse und demokratischer Aushandlungsverfahren mit einer breiten fachlichen und öffentlichen Debatte bedarf.
- ▶ **Kohärenz:** Es bedarf des abgestimmten Handelns über verschiedene Politikfelder hinweg, damit begrenzte Ressourcen mehr Wirkung entfalten. Ein solches Handeln muss politisch gewollt sein und erfordert die (innere) Verpflichtung von Entscheidungsträgern, da nur so etwa ressortübergreifende Koordination möglich wird. Exemplarisch für eine solche Strategie kohärenten Handelns ist bspw. die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die erst durch interministerielle Netzworkebildung und regelmäßigen Informationsaustausch zwischen Ministerien, nach Möglichkeit aber auch gemeinsamen Arbeitsstrukturen, Ressortvereinbarungen, Wirkungsmonitoring etc. erfolgreich sein kann.

53 Im Fall des hier angestrebten Leitbildes der zukunftsfähigen und klimaresilienten Infrastrukturen lässt sich als organisationaler Schlüsselakteur zunächst einmal das Bundesumweltministerium und das Umweltbundesamt nennen und damit das Eintragen des Themas etwa in übergeordnete bundespolitische Debatten (etwa das Netzwerk IMA-Stadt); vgl. auch das KLARIS-interne Politikpapier zu Ansatzpunkten für die weitere Vernetzung (Libbe 2016a).

- ▶ **Transparenz:** Nachvollziehbare, partizipative (Planungs-)Kulturen, ebenso wie kooperative Arbeitsprozesse und das kontinuierliche Befassen mit Maßnahmenplänen und daraus resultierenden Realisierungsschritten sind elementar, um den Prozess der Umsetzung dauerhaft zu stabilisieren.
- ▶ **Beteiligungskultur:** Die unmittelbare praktische Beteiligung aller betroffenen Kreise stiftet Vertrauen und gibt Impulse über den gesamten Umsetzungszeitraum hinweg. So sind bspw. auf kommunaler Ebene Verfahren und Methoden praktischer Bürgermitwirkung (Zukunftskonferenzen, Werkstattgespräche etc.) ein elementarer Erfolgstreiber für die In-Wert-Setzung von Leitbildern.
- ▶ **Ressourcen:** Die Ressourcenausstattung ist nach aller Erfahrung elementar. Dies betrifft zum einen die finanzielle Ausstattung, um die dem Leitbild unterlegten Maßnahmen umzusetzen, Es betrifft aber auch die notwendige Zeit, das Wissen und die Reputation der handelnden Akteure, deren Handlungsmöglichkeiten damit steigen oder sinken.

2 Leitbilder zu Infrastrukturen

Leitbilder waren mit der Entwicklung von Infrastrukturen stets explizit oder zumindest implizit verbunden (vgl. Kapitel 1.3.) Infrastrukturen wurden und werden (fort-)entwickelt, weil sich mit ihnen bestimmte, als gesellschaftlich relevant erkannte Erfordernisse verbinden. Leitbilder und Infrastrukturen stehen dabei in einem Wechselverhältnis. Bestimmte gesellschaftliche Problemlagen oder Herausforderungen können ebenso bestimmte infrastrukturelle Leistungen erforderlich machen wie die Konstruktion bestimmter Technologien ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz bedarf. Insofern kann bezogen auf technische Infrastrukturen in Anlehnung an Dierkes u.a. (1992) auch von einem sozialen Prozess der Infrastrukturentwicklung gesprochen werden. Die technische Konstruktion einer spezifischen Infrastruktur trägt in sich das Leitbild ihrer Konstrukteure (vgl. Libbe/Petschow 2015: 12–16) und erhält vermittelt über die mit der Infrastruktur erbachten Leistungen seine gesellschaftliche Anerkennung.

Zugleich ist zu konstatieren, dass es ein explizit übergreifendes Infrastruktur-Leitbild nicht gibt. Vielmehr werden Infrastrukturen durch unterschiedliche Politikfelder und Technologien beeinflusst, weshalb jeder der hier betrachteten Sektoren über ganz eigene Leitorientierungen verfügt. Gemeinsame Klammer zwischen allen Sektoren ist der Sachverhalt, dass Infrastrukturen grundsätzlich als Voraussetzung für Wirtschaft und Gesellschaft definiert (vgl. Libbe 2015 a) und als Dienstleistungen von allgemeinem (wirtschaftlichen) Interesse (EU) bzw. als Dienstleistungen der Daseinsvorsorge (Deutschland und Österreich) angesehen werden. Es ist Aufgabe des Staates einen gleichberechtigten Zugang zu den Infrastrukturen bei akzeptablen Preisen zu gewährleisten und dabei die Kontinuität und Universalität der Dienstleistung sowie eine angemessene Qualität unter den Bedingungen des Verbraucherschutzes (im Markt) bzw. der politischen Kontrolle und Steuerung (bei öffentlicher Leistungserbringung) sicherzustellen.

Nachfolgend wird ausgehend von der historischen Entwicklung zentraler Leitorientierungen und infrastrukturellen Aufgabenbeschreibungen auf konkrete, für den jeweiligen Infrastrukturbereich gegenwärtig relevante Leitbilder bzw. Leitbildprozesse eingegangen.

2.1 Energieerzeugung und -versorgung (Strom)

Die historische Entwicklung der Elektrizitätsversorgung (vgl. Kapitel I. 2.1) kann durchaus als leitbildgetrieben bezeichnet werden. Sie war gleichermaßen eng verknüpft mit Leitbildern der Stadtentwicklung (Beispiel Darmstadt als Pionierstadt und Vorbild technischer Modernität), einem Paradigmenwechsel des Weg von der risikoreichen (Feuer) Gasbeleuchtungstechnologie als auch einer generellen

von der Elektrizität ausgehenden Faszination. Nicht nur technische Systeme konkurrierten zunächst miteinander sondern, damit verbunden, auch (kommunale) Leitkonzepte.

Die der Elektrizitätsinfrastrukturen haben sich im weiteren Verlauf des 19. und 20. Jahrhunderts aus dezentralen (erneuerbaren) Strukturen zu einem zentralistischen, überregionalen und auf Großkraftwerken basierenden System mit einer dreistufigen Struktur aus Verbund-, Regional- und Lokalversorgern entwickelt. Dies in Verbindung mit oligopolistischen Strukturen und lokalen Monopolstellungen mit Gebietsschutzverträgen zur Sicherung geschlossener Versorgungsgebiete (vgl. Hoffmann u.a. 1993, Libbe 2015 a:).

Entsprechend der Anforderungen der Daseinsvorsorge entwickelte sich das energiepolitische Ziel-dreieck: Die Stromversorgung soll kontinuierlich und stabil erfolgen (Versorgungssicherheit), Strom darf nicht zu teuer sein, um den Wirtschaftsstandort nicht zu gefährden und für alle Menschen bezahlbar zu sein (Wirtschaftlichkeit) und die Erzeugung soll möglichst Schadstoffarm sein (Umweltverträglichkeit). Diese Kerncharakteristika gelten bis heute, gleichwohl kam es zu einer Veränderung der Gewichtung, denkt man etwa an Indikatoren für Umweltverträglichkeit wie Feinstaub oder CO₂-Emissionen.

Das Modell des Energiesektors als einem auf großtechnischer Erzeugung basierenden Infrastruktursystems hat sich über etliche Jahrzehnte durch eine bemerkenswerte Stabilität ausgezeichnet. Erst im Zuge der Anti-AKW-Bewegung sowie infolge der Debatten um eine sogenannte Energiewende seit spätestens Mitte der 1980er Jahre haben sich - teilweise in Abgrenzung zum etablierten sozio-technischen System, teilweise in dessen Nischen - sukzessiv Alternativen zur Energieproduktion in Form von Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien herausgebildet, die nach und nach ihre technische Anwendungsreife erreichten. Zugleich gab es weitere Reformvorschläge in Hinblick auf die Geschäftsmodelle der Unternehmen (vom Energieversorgungsunternehmen zum Energiedienstleistungsunternehmen) sowie in Hinblick auf die Regulierung (Aufhebung) von Gebietsmonopolen. Damit wurde der spätere Paradigmenwechsel zwar vorbereitet, konnte sich politisch jedoch zunächst nicht durchsetzen (vgl. am Beispiel Hamburg Hoffmann u.a. 1993).

Die Veränderungen traten eher sukzessive ein (vgl. Kapitel I 2.1). Erst in Verbindung mit den klimapolitischen Beschlüssen der Bundesregierung in den Jahren 2010 und 2011 sowie infolge der Ereignisse im japanischen Fukushima wurde dann letztlich das technologisch-ökonomische Versorgungssystem gänzlich zur Disposition gestellt und die bisherige großtechnologische Energieerzeugung mittels Kohle und Kernenergie in ihrem Fundament erschüttert. Die Energiewende bewirkt eine grundlegende Systemtransformation, die gekennzeichnet ist durch den Übergang von der Nutzung endlicher fossiler Energieträger sowie der Kernenergie zu einer Energieversorgung mittels erneuerbarer Energien einschließlich einer maximalen Steigerung der Energieeffizienz. Die Energiewende kann somit als ein Leitkonzept begriffen werden, da sie die mit der konventionellen Energiewirtschaft verbundenen ökologischen und gesellschaftlichen Probleme aufgreift und zu minimieren sucht. Zentral ist dabei neben der Vermeidung weiterer Belastungen aus der nuklearen Verbrennung die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft (Strom, Wärme aber auch Mobilität) durch Beendigung der Nutzung von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Kohle und Erdgas für die Energieversorgung. Dies verbunden mit dem ambitionierten Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80–95 % zu vermindern, wobei entsprechend der im 2016 ratifizierten Weltklimavertrag (COP 21) formulierten Ansprüche eher die Ober- denn die Untergrenze des Korridors der Maßstab des zu Erreichenden sein muss.

Die Ausgestaltung des Leitkonzepts Energiewende und damit letztlich seine Übersetzung in gestaltungsorientierte Leitbilder ist Gegenstand der aktuellen energiepolitischen Debatten und vielfältiger Konsultationsprozesse. Mögliche Transformationspfade zur Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele sind dabei durch unterschiedliche Interessen und verschiedene technologische Optionen mit divergierenden Vorstellungen in Hinblick auf die Zentralität oder Dezentralität der Versorgung geprägt. Damit verbunden sind unterschiedliche ordnungspolitische Zeile hinsichtlich des institutio-

nellen Designs und damit verbundener Marktmodelle und Akteurskonstellationen. Aushandlungsprozesse finden ihren Ausdruck in der Fortschreibung von Klimaschutzplänen, Effizienzstrategien u.a.m.. Die Herausforderung im Transformationsprozess liegt darin, einerseits für relative Planungssicherheit der handelnden Akteure zu sorgen, andererseits konzeptionelle Gestaltungsoffenheit zu wahren, dabei jedoch Fehlanreize und nicht zielführende neue Pfadabhängigkeiten zu vermeiden.

Ein Beispiel für den Versuch einer regionalen Gestaltung der Energiewende ist das "Rahmenprogramm zur Umsetzung der Energiewende in den Kommunen des Ruhrgebiets", das die Stiftung Mercator von 2013-2016 gefördert hat. In verschiedenen grundlagen- und anwendungsorientierte Forschungsprojekten der „Energiewende Ruhr“ (www.energiewende-ruhr.de) wurden Bausteine einer Energiewende-Roadmap zusammengetragen und um konkrete Handlungsempfehlungen für politische Maßnahmen auf regionaler und kommunaler Ebene ergänzt. Die mit der Fördermaßnahme verbundene Leitbildentwicklung ist dabei mehr oder weniger Top-down durch die federführenden wissenschaftlichen Institute erfolgt. Die tatsächliche in Wert-Setzung des Leitbildes durch regionale Pioniere des Wandels und Change Agents noch offen. Ein Beispiel für die Setzung eines neuen Leitbildes mit großer Identifikationskraft auf lokaler Ebene ist die „Innovation City Ruhr“ (www.icruhr.de). Hervorgegangen aus einem Wettbewerb des Initiativkreises Ruhr wird dort anhand von zahlreichen Beispielen in der Stadt Bottrop demonstriert, wie ein klimagerechter Stadtumbau in einer sich im Strukturwandel befindlichen Region aussehen kann. Die „Innovation City Ruhr“ demonstriert exemplarisch die in Kapitel 1.4.3 festgehaltenen Aspekte für eine erfolgreiche Umsetzung. Es handelt sich um einen auf längere Frist und stark prozessualen Ansatz, bei dem insbesondere der Oberbürgermeister ein zentraler Schlüsselakteur beim Vorantreiben des Prozesses ist. Die Stadt profitiert dabei von Sonderzuweisungen des Landes NRW sowie weiteren eingeworbenen Fördermitteln. Dies sorgt nicht nur für eine finanzielle Ressourcenausstattung, sondern schafft zugleich die Basis für die Know-how-Bündelung in der Innovation City Management GmbH mit 15 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. 14-tägige Vernetzungstreffen zwischen politischer Spitze, Stadtverwaltung, Industrie und Wissenschaft sichern eine breite Beteiligung ab und organisieren kooperative Prozesse und schaffen Kohärenz im Handeln. Die „Innovation City Ruhr“ ist momentan vielleicht das prominenteste Beispiel für die Überführung einer konzeptionellen Leitbildorientierung in konkretes klima- und energiepolitisches Handeln vor Ort. Die Ausgestaltung manifestiert sich dabei über mehrere hundert konkrete Projekte. Ähnliche Prozesse, wenngleich nicht immer mit solch hoher Ressourcenausstattung lassen sich gegenwärtig in zahlreichen deutschen Städten finden. Die konkrete Ausgestaltung der Umsetzung ist dabei vor allem auch von jeweiligen baulich-räumlichen Bedingungen, vorhandenen Schlüsselakteuren sowie der regionalen Verteilung an erneuerbaren Energieträgern abhängig. Dies zeigt sich im Konkreten etwa dort, wo es um Fragen der Verdichtung oder des Umbaus von Wärmenetzen einschließlich der Nutzung von Wärmespeichern sowie der Nutzung von Überschussstrom aus erneuerbaren Energien (PtX), der Nutzung von Solarthermie oder des Ausbaus von Wärmepumpen und Geothermie geht. Hier befinden sich zahlreiche Städte derzeit in Prozessen der sukzessiven Näherung und der Umsetzung auf den Ebenen von Gesamtstadt und Quartieren.

Der historische wie der aktuelle Veränderungsprozess im Bereich der Energieerzeugung und -verteilung verdeutlicht die Bedeutung von konzeptionellen Leitbildern in kritischen Entwicklungsphasen bzw. wenn es darum geht, einen Pfadwechsel herbei zu führen. Er macht zugleich deutlich, dass Leitbilder gerade dann nicht mehr tragen, wenn diese sich in der Öffentlichkeit nicht mehr durchsetzen lassen bzw. die mit ihnen verbundenen Technologien gesellschaftlich nicht mehr akzeptiert werden (als Beispiele die Abkehr von der Gasbeleuchtung oder die Abkehr von Kohle und die Delegitimierung der Kernenergie). Versteht man die Energiewende ein identitätsstiftendes und motivierendes Leitkonzept (was der Begriff aufgrund seiner Genese sicherlich ist), so hat dieses die notwendige Orientierung für eine Alternative zum bisherigen energiepolitischen Pfad gegeben. Dabei gibt es niemals einen Zeitpunkt X, an dem ein solches Leitbild zum Tragen kommt, sondern das Leitbildkonzept ist Resultat gesellschaftlicher Auseinandersetzungen und ganz erheblicher Kämpfe um Deutungs- und

Gestaltungsmacht. Damit verbunden sind weitere Kontextfaktoren die den auch radikalen Leitbildwandel mit beeinflussen, so etwa die allgemeine Anerkennung der Folgen der Treibhausgasemissionen und damit einer neuen Interpretation dessen, was als umweltverträgliche Energieversorgung anzusehen ist. Zwischenziele und Meilensteine sind in der Umsetzung von Gestaltungsvorstellungen in unterschiedlichen Handlungsfeldern und auf unterschiedlichen politischen Ebenen zentral. Insofern handelt es sich bei der Umsetzung strategisch-konzeptioneller Zielvorstellungen um einen lernenden Prozess bei dem eingeschlagene Transformationspfade und damit verbundene Maßnahmen hinsichtlich deren Konsistenz und Zielerreichung laufend überprüft und angepasst werden, um auf technische, gesellschaftliche, ökologische oder wirtschaftliche Entwicklungen und Veränderungen wissenschaftlicher Erkenntnisse reagieren zu können.

2.2 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

Die Geschichte der modernen Trinkwasserversorgung und Abwasserbehandlung (vgl. Kapitel I 2.1) zeigt, dass die Übernahme des Hygiene-Paradigmas der Abwasserentsorgung entscheidende Weichen für die abwassertechnische Infrastruktur stellte (vgl. Schott 2006). Zugleich ist die Entstehung der Infrastruktur als ein Prozess zu verstehen, bei dem insbesondere hygienische Erwägungen zwar maßgeblich waren, jedoch Probleme 2. Ordnung jeweils zu einer Fortentwicklung der Systeme führten. Im Verlauf dieses Prozesses hat sich die Aufgabe der Siedlungswasserwirtschaft in Deutschland definiert, die bis heute Bestand hat: Es gilt, den Bürgerinnen und Bürgern eine qualitativ einwandfreie und zugleich quantitativ ausreichende Versorgung mit Trinkwasser sicherzustellen. Das anfallende Abwasser ist so zu behandeln, dass es entweder weiter genutzt oder schadlos an die Umwelt abgegeben werden kann. Zudem sind die Siedlungen vor Überschwemmungen zu schützen und die vorhandenen Ressourcen in ihrer Qualität und, soweit als möglich, Quantität zu erhalten.

Die Leistungsfähigkeit der Branche dokumentiert sich in dem alle 3-4 Jahre erscheinenden „Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft“ (zuletzt 2015, vgl. ATT u.a.). Dieses Branchenbild kann durchaus als Branchenleitbild verstanden werden. Es dokumentiert Stärken der deutschen Wasserwirtschaft im europäischen und internationalen Vergleich in Bezug auf Sicherheit (Ver- und Entsorgung, Organisation, Know-how), Qualität (Anschlussgrad, Leitungen, Trinkwasserqualität, Abwasserbehandlung), Kundenzufriedenheit und-service (Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung), Nachhaltigkeit (Ressourcen, Netzerneuerung, Klärschlamm, Energieverbrauch und Effizienz sowie Wirtschaftlichkeit (Wasserentgelte und Abwassergebühren, Investitionen). Zudem werden im Branchenbild regelmäßig institutionell-organisatorische Rahmenbedingungen dokumentiert. Insofern erfasst das Branchenbild umfassend das sozio-technische System der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Die deutsche Wasserwirtschaft bekennt sich über das Branchenbild ausdrücklich dazu, das erreichte hohe Niveau dauerhaft zu halten und – wo möglich und nötig – zu verbessern.

Das Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft wird von allen wichtigen technischen und wirtschaftlichen Verbänden der Siedlungswasserwirtschaft verantwortet und besitzt insofern eine breite Legitimation. Es ist Ausdruck subsidiärer Verantwortung und wird zudem in Abstimmung mit dem Deutschen Städtetag und dem Deutschen Städte- und Gemeindebund erarbeitet. Öffentlichkeit und Politik können sich umfassend über die Leistungen der Wasserwirtschaft, die Vielfalt ihrer Aufgaben und die aktuellen Herausforderungen informieren, wobei das Bundesumweltministerium ein zentraler Adressat ist.

Das Branchenbild ist quasi die „Nabelschau“ der Siedlungswasserwirtschaft und spiegelt die technisch-wirtschaftliche Konfiguration der Branche wider. Regelmäßig benannt werden auch bedeutende Herausforderungen, wie etwa der demografische Wandel, der Klimawandel, der Eintrag anthropogener Spurenstoffe, Nutzungskonflikte mit Industrie und Landwirtschaft oder eine gewässerverträgliche Ausgestaltung der Energiewende. Darüber hinaus beschäftigen die Branche eine ganze Reihe anderer Themen, die im Branchenbild aufgrund deren Sensibilität nicht explizit behandelt werden. Zu diesen

gehören notwendige Veränderungen in der Branchenstruktur und Kooperationsbedarfe, Finanzierungsmodelle, oder überregionale Ressourcenstrategien. Andere umstrittene Themen wie die mögliche Verbreitung neuartiger Sanitärsysteme werden eher auf der Ebene von Arbeitskreisen, etwa bei der DWA, verhandelt. In vielen Bereichen wird zudem das freiwillige Benchmarking als Schlüsselinstrument zur Weiterentwicklung der Branche angesehen. Entsprechende Projekte werden von Landesministerien oder den Unternehmen selbst in Auftrag gegeben.

Die Branche selbst ebenso wie Bundes- und Landesministerien legen Wert auf eine kontinuierliche Überprüfung der Leistungen. Auf Seiten des Bundes hat beispielsweise jüngst das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) am 10. Oktober 2016 einen Dialog „Zukunft der Daseinsvorsorge in der Wasserwirtschaft“ gestartet. Vertreten sind zahlreiche Verbände aber auch Vertreter von Umwelt Verbänden sowie der Wissenschaft. Auf Seiten der Länder waren es in den vergangenen Jahren Baden-Württemberg (2007) und Brandenburg (2015) die explizite Leitbildprozesse initiiert haben. In beiden Ländern waren es Fragen der Branchenstruktur (organisationale Kleinteiligkeit, Wirtschaftlichkeit), des Ressourcenmanagements sowie der Finanzierung, die den Ausschlag für die Initiierung von Leitbildprozessen gegeben haben.⁵⁴ In Baden-Württemberg diente der Leitbildprozess „Zukunftsfähige Trinkwasserversorgung Baden-Württemberg“ nicht zuletzt der Unterlegung der Branchenstrategie der Modernisierung der Wasserwirtschaft (als Antwort auf Liberalisierungs- und Privatisierungsbestrebungen). Das Leitbild formuliert in seiner Funktion zentrale Grundsätze für die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung. Dem entsprechend wurden verschiedene Leitsätze (i.S. von qualifizierten Teilzielen) zu Trinkwasserqualität und Versorgungssicherheit, Ressourcenorientierung, Kundenorientierung und Wasserpreis, Verantwortung und Aufgaben der öffentlichen Hand (Betonung der kommunalen Daseinsvorsorge), Optimierung bestehender Strukturen sowie Beteiligung privater Unternehmen formuliert. Das Leitbild wurde in einem gestuften Verfahren mit innerministerieller Vorbereitung, Befragung, Fachgesprächen und Leitbildformulierung entwickelt. Im Zentrum des Leitbildprozesses „Leitbild Zukunftsfähige Siedlungswasserwirtschaft Brandenburg“ (2015) stand die Frage der wirtschaftlichen Tragfähigkeit regionaler Wasser- und Abwasserzweckverbände unter den Bedingungen des demografischen Wandels und damit einhergehender regionaler Strukturunterschiede. Sicherung der Qualität bei bezahlbaren Preisen in allen Landesteilen standen im Mittelpunkt und damit zwei Kernmerkmale der kommunalen Daseinsvorsorge. Vor dem Hintergrund des zunehmend problematischeren Schuldenmanagements hatte hier das Umweltministerium die Initiative ergriffen und nach einer längeren Vorlaufzeit einen Konsultationsprozess in Form mehrerer thematischer Dialogrunden und anschließender Regionalkonferenzen mit kommunalen Akteuren gestartet. Dies unter externer gutachterlicher Begleitung und Moderation. Beteiligt waren Akteure der Siedlungswasserwirtschaft sowie der kommunalen Aufgabenträger. Ähnlich wie in Baden-Württemberg wurden auch hier Leitsätze zu Nachhaltigkeit als Grundprinzip, Qualität und Sicherheit, Zuverlässig und Zukunftsfähig sowie Wirtschaftlich und bezahlbar formuliert und mit Maßnahmen unterlegt. Letztlich zielen die erarbeiteten Vorschläge auf eine Überprüfung organisatorischer Strukturen, eine strategische Investitions- und Finanzplanung, die Flexibilisierung der technischen Systeme sowie die Stärkung des Ressourcenschutzes. Es ist der Anspruch des Brandenburgischen Umweltministeriums, nunmehr die gemeinsamen Orientierungen mit Leben zu füllen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das politische Umfeld des Prozesses kein einfaches ist und insbesondere mit Blick auf die Kommunen besondere Anstrengungen notwendig sind. Hier zeigen sich auch Grenzen infrastruktureller Leitbilder. Komplexe Problemlagen und daraus resultierende Maßnahmenkataloge drohen gerade kleinere Gemeinden zu überfordern und langfristige strategische Überlegungen wer-

54 Eine weiteren, jedoch 2016 erst gestarteten und daher hier noch nicht ausgewerteten „Leitbildprozess für ein integriertes Wasserressourcen-Management Rhein-Main“ hat das Hessische Umweltministerium angestoßen. Im Fokus steht dabei die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen im Ballungsraum.

den politisch nicht aufgegriffen. Die Umsetzung wird als Aufgabe der kommunalen Aufgabenträger, hier der Zweckverbände angesehen (vgl. ebenda S. 64–66)

Die drei skizzierten Leitbildprozesse bilden primär qualitative Orientierungen für das sozio-technische System der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur. Sie setzen auf vorhandenen Vorstellungen auf und suchen diese weiterzuentwickeln. Sie können insofern als Gestaltungsleitbilder verstanden werden. Technische Paradigmenwechsel werden angesprochen, soweit es um den Umgang mit Regenwasser geht (Entkopplung vom System, Versickerung und/oder Nutzung am Ort des Niederschlags) oder dort, wo es zunehmend schwieriger wird, in bestimmten Regionen mit einer adäquaten Infrastruktur zur Sicherung gleichwertiger Lebensverhältnisse beizutragen. Neuartige Systemlösungen mit getrennter Erfassung von Teilströmen werden teilweise angedeutet. Jedoch, die Vorstellung eines grundlegenden Paradigmenwechsel kommt in diesen Leitbildern nicht zum Tragen. Die identifizierten Herausforderungen erscheinen im Rahmen des vorhandenen infrastrukturellen Systems (noch) leistbar.

Während das Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft das Selbstverständnis der Branche dokumentiert, suchte der Baden-Württembergische Leitbildprozess eine strategische Positionierung unter zunehmendem Wettbewerbsdruck, wobei die Verantwortung der öffentlichen Hand betont wurde. Hingegen kann der Brandenburgische Leitbildprozess weit stärker als problemgeleitet verstanden werden. Er ist in dieser Form sicherlich der ambitionierteste Prozess der vergangenen Jahre und überzeugt insbesondere durch seinen dezidierten Katalog von qualitativen Teilzielen und Maßnahmen. Dabei werden - wenngleich nicht im Schwerpunkt - auch Anpassungsnotwendigkeiten i.S. einer Transformation technischer Infrastrukturen thematisiert. Hier erscheint die Richtungssicherheit dann eben doch nicht mehr so klar. Vor allem aber lehrt der Brandenburger Prozess, dass mit dem erstellten Leitbild zugleich ein Blickwechsel vorgenommen werden muss: weg von der Erfassung und Übersetzung komplexer Probleme in Ziele und Maßnahmen hin zu einer Umsetzungsagenda im kontinuierlichen Dialog, durch die Vernetzung aller relevanten Akteure sowie einer umfassenden öffentlichen Kommunikation über den einzuschlagenden Weg (vgl. ebenda S. 67 f). Damit thematisiert der Brandenburgische Prozess letztlich die Frage einer angemessenen Wassergovernance zur Bewältigung der Herausforderungen.⁵⁵

2.3 Verkehr

Ebenfalls eng verwoben mit Stadtentwicklung und Städtebau der letzten zwei Jahrhunderte ist die Entwicklung von Leitbildern des Verkehrs bzw. der Mobilität (vgl. Schott 2014: 294–303 sowie 329–345). Ja, diese Leitbilder sind ihrerseits im Zuge technologischer Sprünge zu Synonymen der Stadtentwicklung geworden: Von der mittelalterlichen Fußgänger- und Karrenstadt zur Stadt der elektrifizierten Massenverkehrsmittel (Straßenbahn-/Stadtbahn-/U-Bahnstadt und weiter zur auch regionalen S-Bahn-Stadt) sowie im Zuge der flächenhaften Stadterweiterung zur Auto-Stadt der individuellen Motorisierung (vgl. Beckmann/Metzmacher 2016). Damit verbunden waren letztlich auch städtebauliche und verkehrspolitische Paradigmenwechsel. Gründerzeitliche Stadterweiterungen ebenso wie die Stadterweiterungen des sozialen Wohnungsbaus nach dem 1. Weltkrieg gingen einher mit dem Ausbau der netzgebundenen bzw. an Verkehrslinien orientierten öffentlichen Verkehrsmittel. Die mit dem Bevölkerungswachstum verbundene Steigerung des Beförderungsbedarfs wäre ohne diese infrastrukturellen Leistungen nicht denkbar gewesen. Dabei hat die eine Entwicklung die andere

55 Im internationalen Raum spielen Fragen der Governance, also der Rollen, Zuständigkeiten und Ebenen zur Gestaltung von Wasserpolitiken eine weit größere Rolle (vgl. <https://www.oecd.org/gov/regional-policy/OECD-Principles-Water-german.pdf>). Auch hier ist im Übrigen, ganz ähnlich wie im 19. Jahrhundert in Deutschland, die Frage des Access to safe drinking water and sanitation der Treiber der Debatte (vgl. http://www.iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/10/IWA_Brochure_Water_Wise_Communities_SCREEN.pdf)

bedingt. Der massive Ausbau der Eisenbahn bildete die technische Voraussetzung für großflächige Bevölkerungsbewegungen vom Land in die Städte. Das Bevölkerungswachstum seinerseits erzeugte erst die Nachfrage nach massentauglichen Verkehrsmitteln, wobei spätere Stadterweiterungen vielfach (und planerisch gewollt) entlang der Achsen des öffentlichen Personennahverkehrs erfolgten. Bereits in städtebaulichen Leitbildern der 1930er Jahre angelegt, jedoch erst nach dem 2. Weltkrieg realisiert wurde die „autogerechte Stadt“ mit einem klaren Vorrang für den motorisierten Individualverkehr und des Zurückdrängens der Straßenbahn. Diese Phase ging in den 1970er und 1980er Jahren über in die Phase der „verkehrsgerechten Stadt“ mit dem parallelen Ausbau von Straßen und schieneungebundenen öffentlichen Nahverkehrssystemen. Erst in der 2. Hälfte der 1980er Jahre wiederum wurde diese Phase abgelöst durch Konzepte einer integrierten Verkehrsplanung die zum Ziel hatte, eine umweltverträglichere Verkehrsentwicklung zu Gunsten aller Stadtbewohner zu fördern. Dies durch Verkehrsberuhigung, Förderung von Fuß- und Radverkehr sowie weitere Stärkung des ÖPNV (nicht zuletzt auch des Wiedererstarkens der Straßenbahn (vgl. ebenda)).⁵⁶ Dieser Ansatz gewinnt vor dem Hintergrund nationaler und internationaler klima- und energiepolitischer Zielstellungen (vgl. Kapitel 2.1) weiter an Bedeutung, müssen doch im Verkehrssektor erhebliche Anstrengungen zur Minimierung von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen unternommen werden. Zugleich geht es um eine deutliche Minimierung des Flächenverbrauchs der Verkehrsinfrastrukturen. Dies bedeutet für die Zukunft letztlich eine Verkehrsverlagerung weg vom fossilen Antriebsformen sowie eine Vernetzung von Verkehrsträgern und verkehrsträgerübergreifende und digital gestützte Informationsangebote.

Die historische Entwicklung der Verkehrsinfrastrukturen verdeutlicht einerseits einen stetigen Ausbau, andererseits aber auch Brüche in der Entwicklung. Diese Brüche zeigen sich insbesondere beim Ausbau von Straßennetzen für den motorisierten Individualverkehr. Die massive Verbreitung des Automobils wäre ohne entsprechende Infrastrukturen nicht denkbar gewesen und hat zugleich aber auch Grenzen des Infrastrukturausbaus wiederholt aufgezeigt (Unwirtlichkeit der Städte, Umweltprobleme, Benachteiligung von Bevölkerungsgruppen etc.). Eingeleitete Paradigmenwechsel haben niemals vollständig andere Verkehre verdrängen können (bezogen auf einzelne Städte aber schon, insbesondere durch Aufgabe der Straßenbahn), sondern die latente Konkurrenz (insbesondere um das knappe Gut Fläche) und begrenzte finanzielle Mittel haben lediglich zu Wettbewerbsvorteilen oder -nachteilen geführt.

Gleichwohl stehen einzelne Städte durchaus für gewisse verkehrspolitische Maximen. Beispiele sind Wien (Förderung von ÖPNV, Rad- und Fußverkehr), Zürich (Stopp U-Bahn und Ausbau Straßenbahn/Festlegung max. Anteile MIV), Groningen und Münster (Fahrradstadt), Karlsruhe (Stopp Umgehungsstraßen und ÖPNV-Ausbau). Insbesondere in den Städten zeigt sich, dass bestimmte Leitbilder maßgebliche Wirkungen zeitigen können, sofern diese mit Anreizen für die eine oder Restriktionen für die andere Verkehrsart. Zugleich macht die gerade im Bereich von Verkehr und Mobilität vorhandene Vielzahl konkurrierender Leitbilder auch eine gewisse Sprunghaftigkeit und normative Überfrachtung deutlich. Zudem ist viel stärker noch als in den Bereichen Energie und Wasser/Abwasser sind es neben ingenieurstechnischen Leitvisionen gesellschaftliche Versprechungen, die mit Verkehrsleitbildern einhergehen. Zugleich sind Verkehrsleitbilder durch Widersprüche und miteinander unvereinbare Ziele gekennzeichnet (vgl. Hesse 2000). Solche Widersprüche zeigen sich bis heute zudem sowohl zwischen politischen Ebenen und Fachpolitiken als auch innerhalb der Ebenen und Fachpolitiken. Während auf Seiten der Kommunen die sogenannte integrierte Stadt- und Verkehrsplanung unter Berücksichtigung

56 Ein Beispiel für einen spezifischen Paradigmenwechsel ist die belgische Stadt Hasselt, wo von 1997 bis 2013 der Öffentliche Personennahverkehr kostenfrei genutzt werden konnte (FFPT-Free Fare Public Transport). Die Maßnahme ging einher mit einer Reduzierung des Straßenausbaus und Straßenrückbaumaßnahmen sowie einer Erhöhung von Stellplatzgebühren). Es kam zu einer Verzehnfachung der Nutzerzahlen des ÖPNV. Geldmangel war dabei sowohl Triebfeder für den Verzicht auf Straßenausbau als letztlich auch für die Aufgabe des Modells des FFPT.

sichtigung von Kriterien der Stadt- und Umweltverträglichkeit zwar allgemein anerkannt ist, und nicht zuletzt die Beiträge des ÖPNV betont werden (vgl. Deutsch u.a. 2016), gibt es gleichwohl spürbare Spannungsverhältnisse zwischen beispielsweise Umwelt und Verkehrsdezernaten. Auf bundespolitischer Ebene ist es insbesondere das Bundesverkehrsministerium, das auf die Bedeutung von Verkehrsinfrastrukturen für die wirtschaftliche Entwicklung verweist, den Ausbau von Verkehrswegen vorantreibt und dabei ungebrochen die motorisierte Automobilität vorantreibt. Einen Paradigmenwechsel sieht das Verkehrsministerium im Übergang zur Elektromobilität, der allerdings wiederum im Wesentlichen auf die Veränderung des automobilen Antriebs fokussiert ist.

2.4 Leitbilder und Infrastrukturen – Zwischenfazit

Die skizzierten historischen Entwicklungen sowie die für die Analyse exemplarisch herangezogenen Leitbilder lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- ▶ Die Genese von grundlegenden, zunächst eher konzeptionellen Leitbildern ist durch bestimmte historische Kontexte geprägt. Dabei können gleichermaßen stadt- und raumentwicklungspolitische, soziale, technische, ökologische und ökonomische Problemlagen ausschlaggebend sein.
- ▶ Infrastrukturen sind in Phasen ihrer Entstehung immer auch mit unterschiedlichen Entwicklungsvorstellungen verbunden. Nicht nur unterschiedliche Techniken und technische Systeme sondern auch unterschiedliche Leitkonzepte konkurrieren dabei miteinander.
- ▶ Entscheidungen für bestimmte technologische Konfigurationen von Infrastrukturen sind verbunden mit raumstrukturellen und ökonomischen Weichenstellungen, die sich ihrerseits leitbildprägend auswirken und planerisches oder wirtschaftliches Handeln vorbestimmen, also Pfadabhängigkeiten erzeugen.
- ▶ Konzeptionelle Leitbilder können technologischen Wandel und die Überwindung der Pfadabhängigkeit eines vorherrschenden Infrastruktursystems anstoßen. Sie benötigen ihrerseits aber politische Impulse. Letztere können Bottom-up entstehen, bedürfen zu ihrer Durchsetzung letztlich aber auch Entscheidungen des Top-down im jeweiligen politischen und ökonomischen Umfeld.
- ▶ Konzeptionelle Leitbilder sind oftmals Ausdruck einer spezifischen Setzung als Reaktion auf eine Problemlage. Ein Beispiel hierfür ist die von der Bundesregierung beschlossene Energiewende. Auch eine zukunftsfähige Infrastruktur, kann als eine solche konzeptionelle Setzung verstanden werden, folgt sie doch dem 1992 in Rio de Janeiro formulierten Konzept der Nachhaltigen Entwicklung. D.h. nicht, dass solche Leitkonzepte nicht auch ausgehandelt werden, jedoch sind sie tendenziell eine Top-down Setzung.
- ▶ Gestaltungsleitbilder basieren weit mehr als konzeptionelle Leitbilder auf Aushandlungsprozessen, wie denn das Konzept sich in einem spezifischen Kontext konkretisieren sollte. Gestaltungsleitbilder konkretisieren insofern die konzeptionellen Leitbilder. Beispielsweise wurde das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung in unterschiedlichen Handlungsbereichen vielfach in diskursiven Prozessen mit Gestaltungsleitbildern unterlegt.
- ▶ Infrastrukturleitbilder können beides sein, sowohl Leitkonzept als auch Gestaltungsleitbild. Der Wandel konzeptioneller Leitvorstellungen kommt einem infrastrukturellen Paradigmenwechsel gleich, hingegen unterstreichen Gestaltungsleitbilder eher das ihnen zugrundeliegende Leitkonzept.
- ▶ Leitbilder können gleichermaßen (Mit-)Auslöser künftiger infrastruktureller Pfadwechsel sein und (erfolgreiche) Leitbilder unterstützen den Wandel und geben ihm Richtungssicherheit. Bei sich verändernden Problemkonstellationen können existierende Leitbilder allerdings selbst wiederum verantwortlich für Pfadabhängigkeiten sein.

- ▶ Gestaltungsleitbilder treten häufiger auf als Leitbildkonzepte, das sie letztere quasi in die Breite tragen und umsetzen. In den Gestaltungsleitbildern erfahren konzeptionelle Vorstellungen zugleich ihre Interpretation, orientiert an etablierten Technologien, Organisationsstrukturen oder institutionellen Rahmenbedingungen.
- ▶ Die in den analysierten Gestaltungsleitbildern zum Ausdruck kommenden Ziele und Maßnahmen sind überwiegend qualitativer Natur. Auf die Definition exakter Zielzustände für definierte Zeiträume wird dabei häufig verzichtet. Quantitative Ziele ergeben sich erst nachfolgend über die Umsetzung von Leitbildern. Die Anpassung von Infrastrukturen entsprechend der Leitbilder wird insofern als Näherungsprozess verstanden.
- ▶ Die Interpretationen von Zielkategorien können sich im Zeitverlauf ändern, ohne dass sich die Begrifflichkeiten verändern, was auf eine schleichende Veränderung der Substanz von Leitbildern entsprechend der gesellschaftlichen Entwicklung hinaus läuft.
- ▶ Subsidiaritätsprinzip und Selbstverwaltung in Verbindung mit Verantwortung für eine zukunftsfähige Weiterentwicklung von Infrastrukturen erscheinen insbesondere in Kernbereichen der kommunalen Daseinsvorsorge zentral. Übergeordnete staatliche Ebenen können initiiierend und auch organisierend wirken, bedürfen aber der in der Umsetzung auf den nachgeordneten Ebenen.
- ▶ Gestaltungsleitbilder machen dann Sinn, wenn in ihnen nicht nur Probleme, Ziele und Maßnahmen ausformuliert sind sondern sie zugleich als Wegweiser für konkretes politisches Handeln dienen. Das heißt, es sollten Verantwortlichkeiten zugewiesen sowie Willensbildungs- und Entscheidungsprozesse organisiert werden. Für die Umsetzung eines Leitbildes bedarf es insofern entsprechender institutioneller Strukturen, die von den Schlüsselakteuren getragen werden sollten.
- ▶ Für das Initiieren von Leitkonzepten sind Change Agents zentral, also Akteure die die konzeptionelle Idee tragen und verbreiten. Für die Initiierung und Umsetzung in einzelnen Politikfeldern ist die aktivierende Funktion eines Schlüsselakteurs, eines „Kümmerers“ zentral. Jedoch erfahren Leitbilder erst durch die Beteiligung weiterer zentraler Stakeholder wie etwa Aufgabenträger und Verbände ein hohes Maß an Legitimation.
- ▶ Leitbilder stoßen dort an ihre Grenzen, wo komplexe Problemlagen politische Entscheidungsträger überfordern. Insbesondere bei der Adressierung kleinerer Gemeinden bedarf es der Einbindung von Multiplikatoren und Intermediären (vgl. hierzu auch Fichter u.a. 2010:158), um alle Zielgruppen adäquat zu erreichen. Verbände und Aufgabenträger erscheinen dabei zentral. Der Wissenstransfer sollte zudem durch unabhängige Beratungs- und Transfereinrichtungen unterstützt werden. In der Umsetzung des Leitbildes sich stellende übergeordnete Fragen und Hemmnisse können so in konkrete Unterstützungsformate übersetzt und der Erfahrungsaustausch organisiert werden.
- ▶ Der Leitbildprozess ist mit der Fertigstellung des Gestaltungsleitbildes nicht abgeschlossen. Die eigentliche Arbeit beginnt dann erst. Insofern bedarf es einer Verstetigung des Dialogs i.S. der Priorisierung sowie Umsetzung von Zielen und Maßnahmen.
- ▶ Beharrlichkeit ist ganz generell als Schlüssel für die erfolgreiche Durchsetzung eines Leitbildes anzusehen.

2.5 Neue Anforderungen an Infrastrukturen

Soviel Veränderungsdruck bei wichtigen Rahmenbedingungen infrastruktureller Entwicklung wie derzeit gab es lange nicht. Themen wie Klimaschutz und Klimawandel, Energiewende und erneuerbare Energien, Demografie und Migration oder Digitalisierung und neue Technologien wirken sich als Treiber einer „großen Transformation“ (WBGU 2011) aus und stehen in vielfältigen Wechselwirkungen zueinander. Wachstum in den Kernen der Metropolräume stehen dabei Prozesse der Schrumpfung in der Peripherie gegenüber.

Nicht zuletzt über Investitionen in Infrastrukturen wird sich zeigen, ob eine globale Transformation zur Nachhaltigkeit gelingt. Eine besondere Herausforderung ist dabei die Planbarkeit und Reichweite des Planungshorizonts. Komplexen Veränderungen steht begrenztes Wissen um die Richtung des Wandels und die Möglichkeit disruptiver Entwicklungen gegenüber. Daraus nun zu Schlussfolgern, dass die Planungshorizonte deutlich zu verkürzen sind, würde den Anforderungen nicht gerecht. Gerade der Bau von Infrastrukturen orientiert sich in der Regel an langfristigen Zeithorizonten und muss letztlich auch die Herausforderungen der langen Frist mit in den Blick nehmen (Zukunftsfähigkeit). Daher kommt in der gegenwärtigen Situation konzeptionellen und zielorientierten Leitbildern eine große Bedeutung zu, im Rahmen derer Erstellung und Umsetzung vorhandene Konzepte, Planungsprozesse und Instrumente zu überprüfen und wo notwendig anzupassen sind. Erforderlich ist dabei ein Mehr an integrativen, ressort- und disziplinenübergreifenden sowie allgemein akzeptierten Leitbildern und Konzepten. Damit dies gelingt, braucht es nicht nur entsprechende Verfahren der transparenten Mitwirkung und Kooperation sondern auch institutioneller Strukturen für die notwendige Kontinuität.

Die weitreichenden Vereinbarungen zum Klimaschutz, wie sie im Rahmen der Verhandlungen in Paris festgelegt wurden, zeigen die massiven Herausforderungen an Gesellschaft und Wirtschaft und damit zugleich auch an die Infrastrukturen. Mit Blick auf den Klimaschutz und die Maßnahmen bis zum Jahre 2050 werden in der Regel zwei Zielzustände gerechnet, ein 80 % und ein 95 % CO₂ Minderungsziel. Es wird davon ausgegangen, dass das 80 % Minderungsziel zwar eine massive Umsteuerungsleistung erforderlich macht, dass aber die grundsätzlichen Strukturen vergleichbar wären. Im Falle des 95 % Minderungsszenarios – das entsprechend des 2015 in Paris beschlossenen und 2016 ratifizierten Weltklimavertrags die künftig für Deutschland relevante Marke sein dürfte – sind allerdings massivere Veränderungsprozesse erforderlich, die, zumindest aus heutiger Sicht, sehr viel weitergehende Eingriffe erforderlich machen.⁵⁷ Langfristige Investitionen in Infrastrukturen müssen diese Herausforderungen im Blick haben.⁵⁸ Die Minderungsziele im Energiebereich sind mit den anderen Infrastrukturen eng verbunden.

Der Veränderungsdruck im Bereich der Energieinfrastruktur wird maßgeblich durch die internationalen wie nationalen klima- und energiepolitischen Beschlüsse erzeugt. In Deutschland bewirken diese einen grundlegenden Paradigmenwechsel weg von einer auf kohle- und kernenergiebasierten und durch Großkraftwerke gekennzeichneten Versorgungsstruktur hin zu einer perspektivisch vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Versorgung. Damit einher geht die Notwendigkeit einer größeren Flexibilisierung der Infrastruktur in Richtung eines intelligenten Last- und Erzeugungsmanagements, mit überregionalem Netzausbau sowie dem Ausbau von Kurzzeit- und Langzeitspeichern. Damit verbunden ist eine mindestens partielle Dezentralisierung mit tendenzieller Verschiebung der Erzeugungskapazitäten von den oberen Stromnetzebenen (Höchst- und Hochspannungsebene) auf die Ebene der Verteilnetze (Mittel- und Niederspannungsbereich). Als Folge davon wird ein Aus- und Umbau der Stromverteilnetze erforderlich.

Auch im Bereich der netzgebundenen Infrastrukturen der Wärmeversorgung hat ein umfassender Umbau begonnen. Hier geht es neben der weiteren Steigerung der Energieeffizienz vor allem um den Umstieg auf erneuerbare Energien. Zum einen geht es um den Ausbau effizienter Systeme (z. B. der Kraft-Wärme-Kopplung) in Verbindung mit Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie. In diesem Kontext wird gegenwärtig die mögliche stärkere Einbindung von derzeit nichtgenutztem Strom aus

57 Es existieren in diesem Kontext durchaus unterschiedliche Vorstellungen. Eine vom WWF (2010) herausgegebene Studie (Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050). hat bspw. darauf verwiesen, dass bei dem 95 % Szenario der Einsatz von Technologien für industrielle Prozesse unabdingbar sei (Variante „Modell Deutschland“).

58 Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist dabei, dass Infrastrukturen auch die Produktions- und Konsumtionsgewohnheiten beeinflussen und vice versa.

Windkraftanlagen in vorhandene Fernwärmenetze (Power to Heat) diskutiert. Ebenso können Biomasseverbrennungsanlagen vorhandene Kesselanlagen ersetzen. Es geht also um einen Austausch des Energieträgers, ohne dass die nachgelagerten Systeme (Zentralheizung mit Warmwasser mit Vorlauftemperaturen etc.) im Kern verändert werden müssen.

Für einen vollständigen Umstieg auf erneuerbare Energien sind jedoch weit größere Anstrengungen notwendig. Das sind vor allem die Solarwärme, Wind- und Solarstrom, die Biomasse sowie die Erdwärme. Soll beispielsweise die Solarwärme im Bereich der zentralen Wärmeversorgung genutzt werden, so setzt dies eine Absenkung der Vorlauftemperaturen der Fern- und Nahwärmenetze voraus, was nicht nur entsprechende Maßnahmen in den Gebäudeheizungssystemen nach sich zieht sondern unter Umständen auch neue Speichermöglichkeiten bedingt. Etwas einfacher könnte sich der Umstieg der zentralen Systeme der Erdgasversorgung gestalten, sofern regenerativ erzeugte Biogas- und Synthesegasmengen marktfähig werden (z. B. Wasserstoff aus der Elektrolyse oder synthetisches Erdgas – Power to Gas). In diesem Fall wären weit weniger Umbaumaßnahmen auf der Gebäudeebene erforderlich und die Frage der Speicherung könnte durch die vorhandenen Erdgasspeicher als unproblematisch angesehen werden.

Für eine schlüssige Gesamtstrategie sind noch weit mehr Kombinationen von Energieträgern denkbar. Entscheidend ist, dass für das Gelingen der Wärmewende ein vollständiger Umstieg der Wärme- und Gasnetze auf erneuerbare Energien unabdingbar ist.

Auch für die Infrastrukturen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sind es die klima- und energiepolitischen Herausforderungen, die Veränderungsdruck auf die infrastrukturellen Systeme erzeugen. Der Klimawandel erschwert es, zukünftig Veränderungen des Wasserhaushalts verlässlich vorauszusagen, da die Schwankungen stärker ausfallen. Zudem wird die Energie- und Ressourceneffizienz der vorhandenen Infrastrukturen kritisch hinterfragt. Weitere dynamische Veränderungen zeigen sich aufgrund der regional unterschiedlichen Entwicklung der Bevölkerungszahl und der spezifischen Wassernachfrage. Die Möglichkeiten innerhalb des vorhandenen Infrastruktursystems auf diese dynamischen Veränderungen zu reagieren sind begrenzt und Anpassungshemmnisse zeigen sich gleichermaßen in technischer wie ökonomischer Hinsicht. Vor diesem Hintergrund werden verschiedene Ansatzpunkte einer veränderten Planung und Gestaltung von Wasserinfrastrukturen diskutiert.

Paradigmenwechsel deuten sich gegenwärtig dort an, wo es um den Umgang mit Regenwasser geht. Es bedarf der Kopplung von grauer technischer mit grüner (z. B. Grünanlagen, Gründächer) und blauer (Wasserkörper, Gewässer), um Starkniederschläge oder Hitzeperioden zu mindern. Dies bedeutet im Umkehrschluss, Regenwasser von der Kanalisation zu entkoppeln und die Versickerung und/oder Nutzung am Ort des Niederschlags zu gewährleisten). Auf diese Art und Weise kommen die Folgen des Klimawandels, wie sie sich u.a. durch die Zunahme von Extremereignissen zeigen, durch Anpassungsmaßnahmen gemindert werden. Die Vulnerabilität der bestehenden Infrastruktursysteme wird so durch die vermindert. Die Anpassungsbedarfe variieren dabei zwischen den Städten, abhängig von der Dimensionierung vorhandener Kanäle, städtebaulicher Dynamik, vorhandener Versiegelung, Topografie u.a.m.

Im Weiteren geht es aber auch um die Steigerung der Energieeffizienz, nicht zuletzt bei der Abwasserbehandlung sowie Nutzung energetischer Potenziale des Abwassers (Klärgas- und Abwärmenutzung). Während sich diese Wandelprozesse zunächst einmal im vorhandenen infrastrukturellen System stattfinden ist hingegen weitgehend offen, inwieweit der Veränderungsdruck auch neuartige Systemlösungen mit getrennter Erfassung von Teilströmen bewirken wird. Hier geht es nicht nur um die Abkoppelung von Regenwasser sondern auch die Nutzung von Grauwasser (etwa als aufbereitetes Betriebswasser) oder die Verwertung des Schwarzwassers über neue dezentralere Ableitungs- und Behandlungsverfahren. Abwasser wird dabei zur Ressource, stofflich oder energetisch. Dies umgesetzt entstünde ein differenziertes System, in dem parallel unterschiedliche Wasserqualitäten zur Versorgung bereitgestellt (Trinkwasser, Betriebswasser, Regenwasser) bzw. unterschiedliche Abwasserströme

getrennt erfasst, abgeleitet und behandelt werden. Solche integrierten Konzepte für Wasser, Abwasser und Energie sowie neuartige Sanitärsysteme wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen verschiedener Modellvorhaben erprobt und Räume für eine solche Transformation werden identifiziert (vgl. Difu 2016). Bei einer stärkeren Verbreitung solcher Lösungen würden die vorhandenen zentralen Abwasserentsorgungssysteme durch dezentralere Anlagen ergänzt. Im Ergebnis würde sich die Nutzung der natürlichen Wasserressourcen reduzieren, das Niederschlagswasser in die Nutzung einbezogen sein und die Energie- und Wertstoffpotenziale des Abwassers würden genutzt. Wieweit damit letztlich auch die Belastung der natürlichen Ressourcen Gewässer, Boden und Luft reduziert würde, bedarf jedoch weiterer Forschung. Derzeit jedenfalls ist eine solch umfassende Transformation allenfalls für ausgewählte Teilräume realistisch.

In den kommenden Jahren werden sich die Wandelprozesse differenziert entsprechend der jeweiligen regionalen oder auch stadträumlichen Bedingungen zeigen. Klima- und energiepolitische aber auch andere Anforderungen lösen Veränderungsdruck in Hinblick auf den partiellen Umbau von Infrastrukturen aus. Dies bedeutet, dass es zunächst einmal um neue Gestaltungsleitbilder für eine wassersensible Entwicklung von Städten und Regionen geht. Die Bandbreite möglicher Maßnahmen dabei ist groß: Hierzu zählen beispielsweise die Rückhaltung, Behandlung, Wiederverwendung, Versickerung und auch gezielte Verdunstung von Wasser. Klimaschutz und Klimaanpassung bedeutet aber auch die Förderung von Energie- und Ressourceneffizienz in den infrastrukturellen Systemen, einschließlich der Erschließung von Potenzialen des Abwassers für die städtische Energieversorgung.

Der Bereich Verkehr und Mobilität bzw. der Straßeninfrastruktur (vgl. zu anderen Verkehrsinfrastrukturen auch Trapp u.a. 2017) ist durch eine relative Unverbindlichkeit in Hinblick auf Ziele des Klimaschutzes gekennzeichnet. Zwar sind Einsparziele zur Minimierung von CO₂-Emissionen und zur Energieeinsparung durch die EU und die Bundesregierung formuliert, doch haben diese kaum Auswirkungen auf die Infrastruktur. Veränderungsdruck besteht im Hinblick auf die auf den Straßen sich bewegendes Fahrzeugflotten (Umstieg auf Elektroautomobilität, CO₂-freie Innenstadtlogistik). Umso mehr, als der Verkehrsaufwand weiterhin zunimmt.

Unsicherheit besteht, wie sich der digitale Wandel auswirkt. Die neuen Möglichkeiten der Vernetzung in Verbindung mit veränderten Bedeutungszuweisungen beim PKW-Besitz besitzen durchaus das Potenzial, die Anzahl der Fahrzeuge zu minimieren, was jedoch nicht mit einer Minimierung von Verkehr gleichzusetzen ist. Im Güterverkehr zeigen sich infolge von Digitalisierung und Online-Handel gegenwärtig steigende Transportweiten und erhöhte Lieferfrequenzen zu verzeichnen.

Wandelprozesse in der demografischen Entwicklung sowie der Siedlungsstruktur führen tendenziell zu regional unterschiedlichen Auslastungen von Straßen, was im Umkehrschluss aber nicht bedeutet, dass neben dem weiteren Infrastrukturausbau auch -rückbau zu verzeichnen wäre. Ein relational vergleichbarer Zugang zu beispielsweise Bundesverkehrsstraßen steht in enger Beziehung zur zentralen Leitvorstellung des Bundes und der Länder, gleichwertige Lebensverhältnisse i. S. einer gleichmäßigen Entwicklung von Teilräumen, insbesondere auch auf Daseinsvorsorge herstellen zu wollen. Zunehmende Probleme zeigen sich der Infrastrukturfinanzierung, weshalb dieser Punkt gegenwärtig auch eine gewisse Dominanz im Diskurs um Verkehrsinfrastrukturen besitzt (vgl. Libbe 2015 b). Die Frage der langfristigen Finanzierung dürfte dazu führen, dass dem Erhalt von Infrastruktur künftig größeres Augenmerk geschenkt wird, als dem weiteren Aus- und Neubau.

Die Wandelprozesse im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien wiederum sind schon seit längerem einer Dynamik unterworfen, die nicht nur zu einer rasanten anwachsen von Datenströmen führt, sondern die Wandelprozesse in den anderen genannten Sektoren massiv beeinflusst. Informations- und Kommunikationstechnologien sind im Zuge der Digitalisierung ehemals analoger Kommunikationsinfrastruktur in den vergangenen Jahrzehnten zu einem nicht mehr trennbaren Innovationssystem und zu einer integrierten Infrastruktur zusammengewachsen. Wichtiger noch als der notwendige Ausbau des Breitbandnetzes sowie von Netzknotenpunkten und Datenverarbeitungs-

zentren ist die rasante Zunahme von mobilen Endgeräten, die ihrerseits wiederum entsprechender Funknetze samt dazu gehöriger Anlagen bedürfen. Die Wandeldynamik wird u.a. getrieben durch ständig wachsende Anforderungen der Software an Hardwarelösungen (Verarbeitungsgeschwindigkeit, Speicherkapazität, Bandbreite usw.) und ständig neue Potenziale für Softwarelösungen bei neuer Hardware. Die Dauer der Nutzbarkeit von Hardware wird dabei in zunehmendem Maß von den Zyklen der Softwareentwicklung bestimmt. Am deutlichsten wird dies im Bereich des Mobilfunks, wo Ersatzbedarf für technisch einwandfrei funktionierende Endgeräte durch neue Software erzeugt wird.

Das Internet ist ebenso Kennzeichen dieses ko-evolutionären Prozesses wie Entwicklungstreiber: es initiiert und fördert die Multimedialität der Angebote, die Hinwendung zur (Bewegt-)Bildkommunikation, die Forderung nach höheren Speicherkapazitäten und höheren Bandbreiten, die Nachfrage nach ubiquitär verfügbarer (gespeicherter) Energie. Das Netz entwickelte sich vom ursprünglichen „Netz der Netze“, das Personen vernetzt, zum „Netz der Dinge“, das zur Vernetzung von Gegenständen genutzt wird, hin zum „Netz der Dienste“ mit dem Internet als „Datenwolke“.

Ein Ende dieses dynamischen Prozesses ist nicht abzusehen. Künftig stärker in den Fokus rücken dürften der steigende Energieverbrauch bei Datenerfassung, Datenübertragung, Datenverarbeitung und Datenspeicherung. Eine zuverlässige und damit unterbrechungsfreie Stromversorgung ist eine elementare Grundvoraussetzung für das Funktionieren der digitalen Infrastrukturen. Zugleich haben Informations- und Kommunikationstechnologien zahlreiche Wechselwirkungen mit anderen Infrastrukturbereichen.

Diese und weitere Anforderungen sind vielfältig miteinander verflochten. Verdeutlichen und verstärken sich gegenseitig. Und gerade diese Wechselwirkungen sind es auch, die die Suche nach übergeordneten Leitbildern sinnvoll erscheinen lassen.

2.6 Erweiterte Leitbilder für die Infrastrukturentwicklung

Wie gezeigt lassen sich zahlreiche Leitbilder mit infrastrukturellem Bezug und auf unterschiedlichen Ebenen identifizieren. Ihre Ausstrahlungskraft ist dabei abhängig von ihrer Funktion und dem Kontext ihrer Entstehung und Umsetzung. In jedem Fall ist die Entwicklung verschiedener Infrastrukturen stets auch mit übergeordneten Leitvorstellungen verbunden, ohne dass sich daraus eine eindeutige Dependenz ableiten ließe. Vielmehr bedingen sich gesellschaftliche Leitbilder und zur Verfügung stehende technische Infrastrukturen gegenseitig.

Die Leitbilder der einzelnen Infrastruktursysteme sind auf der Ebene der Dienstleistungen, die erfüllt werden sollen, relativ stabil, sodass nicht nur in Bezug auf Infrastrukturen sondern auch in Hinblick auf die mit diesen verbundenen Leitbildern von einer Pfadabhängigkeit gesprochen werden muss. Gerade dann, wenn der Veränderungsdruck bei wichtigen Rahmenbedingungen infrastruktureller Entwicklung besonders groß ist, bedürfen die vorhandenen Leitbilder jedoch der Überprüfung. So ist neben dem für Infrastrukturen so zentralen Konzept der Daseinsvorsorge heute auch das Leitbild der Nachhaltigkeit längst zu einer zentralen Orientierung geworden. In jüngerer Zeit hinzu getreten ist das Leitbild der Resilienz, das in Hinblick auf den Klimawandel insbesondere auch unter dem Aspekt der Klimaresilienz diskutiert wird. Bei diesen Leitbildern ging es dabei nie um den Wegfall der älteren Leitorientierung gegenüber einem neuen Leitbild. Vielmehr ergänzen sich diese drei Leitbilder. Dies ist Spiegel der gesellschaftlichen Übereinkunft, dass neben ökonomischen und sozialen den ökologischen Aspekten eine gleiche Bedeutung zukommt und gerade dort, wo ökologische Krisen zu Disfunktionalitäten zu führen drohen, diesen eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist. Anders formuliert: Nachhaltigkeit wie Resilienz stehen nicht im Widerspruch zur Daseinsvorsorge. Nachhaltigkeit ist in einem zeitgemäßen Verständnis eher als ein hinter der Grunddienstleistung liegendes Wertebild zu verstehen, bei dem die ökologische Säule einen stärkeren Akzent setzt. Resilienz hingegen ist eher als zusätzliches Leitkonzept in Hinblick auf die Art und Weise der Leistungserbringung zu verstehen. Dieses kann mit Prinzipien unterlegt werden, die sich nicht nur auf das technische System sondern

gleichermaßen und letztlich sogar bedeutsamer auf die institutionelle, organisatorische und ökonomische Ausgestaltung beziehen. Insofern können Nachhaltigkeit wie Resilienz durchaus auch wieder Rückwirkungen auf die Vorstellung einer kontinuierlichen Daseinsvorsorge haben, da Versorgungssicherheit u. U. neu interpretiert werden muss und die hinter der Daseinsvorsorgedienstleistung liegende Infrastruktur zu hinterfragen ist.

2.7 Leitbilder Daseinsvorsorge, Nachhaltigkeit und Resilienz

Daseinsvorsorge

Insbesondere in Deutschland (und Österreich) werden zahlreiche Infrastrukturen als Basisdienstleistungen der sogenannten „Daseinsvorsorge“ angesehen, für die ein gleichberechtigter Zugang, akzeptable Preise, Kontinuität und Universalität der Dienstleistung, angemessene Qualität sowie politische Kontrolle und Steuerung gegeben sein sollen. Dahinter steht konzeptionell die Vorstellung eines spezifischen Gemeinwohls, welches regelmäßig mit staatlicher Leistungserbringung verknüpft ist. Im europäischen Kontext wird in diesem Zusammenhang von Dienstleistungen von allgemeinem (wirtschaftlichen) Interesse (DAWI) gesprochen; diese hat der Staat zu gewährleisten, jedoch nicht notwendig auch zu erbringen. Die Merkmale von DAWI sind ähnlich denen der Daseinsvorsorge, wobei bei den DAWI anstelle der politischen Kontrolle der Verbraucherschutz betont wird.

Daseinsvorsorge und DAWI können als Leitkonzepte mit gestalterischer Aussage interpretiert werden. Sie sind jedoch nur zu verstehen, wenn man sich die dahinterliegenden Weltbilder verdeutlicht. Daseinsvorsorge geht von einem sozialstaatlichen Grundverständnis aus (verfassungsrechtlich in dem als Staatsziel ausgestalteten Sozialstaatsprinzip nach Art. 20 Abs. 1 des Grundgesetzes zu verorten). Infrastrukturelle Leistungen werden als Gemeinschaftsgut angesehen. Ein wesentliches Merkmal ist die Gemeinwohlorientierung, wobei unterstellt wird, dass die Bereitstellung von Leistungen der Daseinsvorsorge in erster Linie dazu dient, die Bevölkerung und die Wirtschaft mit essentiellen beziehungsweise existenziellen Gütern und Dienstleistungen durch das Gemeinwesen zu versorgen (vgl. Libbe 2015a: 50). DAWI betonen ebenfalls die Grunddienstleistungen, verweisen aber stärker auf deren Bedeutung für den Europäischen Binnenmarkt.

Nachhaltigkeit

Die Diskussion um Nachhaltigkeit bzw. eine nachhaltige Entwicklung wird seit der Veröffentlichung des Brundtlandberichts intensiv geführt und thematisierte vor dem Hintergrund der Umweltherausforderungen Fragen der inter- und intragenerationale Gerechtigkeit. Es existieren vielfältige Interpretationen, wobei in Deutschland das drei Säulen Modell eine wichtige Rolle spielte. Dieses spiegelt sich auch mit Blick auf Infrastrukturen wider, wo neben sozialen und ökonomischen Fragestellungen die Umweltaspekte in Wissenschaft und Praxis unstrittig sind. Nachhaltigkeit im letzteren Sinne zielt vor allem auf die Minderung von Treibhausgasemissionen, die Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz, in jüngerer Zeit auch der Ressourcenleichtigkeit (Trapp u.a. 2017) sowie die Klimaanpassung. Weiterreichende Ansätze zur Transformation der Infrastrukturen fokussieren auf Fragen der Ressourcenallokation im Sinne der intra- und intergenerationellen Gerechtigkeit und befassen sich mit der Frage, wie Infrastrukturen so umgestaltet werden können, dass sie nicht nur zu einer Minimierung von Stoff- und energieströmen beitragen sondern zugleich auch suffiziente Lebensstile auf Seiten der Infrastrukturnutzer ermöglichen (Loske/Schaeffer 2005).

Wesentliche aktuelle Herausforderungen an die Entwicklung der Infrastrukturen ergeben sich vor allem durch die gesellschaftliche Anerkennung der weitreichenden Umweltziele, wie sie im Kontext der Energiewende formuliert und in der Folge auch im Kontext des Pariser Klimaabkommens auch international bestätigt wurden. Dies rückt die Infrastrukturen in den Fokus, da die Dekarbonisierung einen erheblichen Anpassungsdruck auf die Infrastrukturen auslöst. Dabei steht einerseits der ange-

passte Infrastrukturausbau im Blick und andererseits die Frage der damit verbundenen Interdependenzen der Infrastrukturen, die sich einerseits durch eine zunehmende Interdependenz zwischen Infrastrukturen die bislang eher unabhängig voneinander waren (im Bereich Energie wird die Debatten unter dem Stichwort Sektorkopplung geführt) sowie durch die zunehmende Bedeutung der IKT für die Funktionsfähigkeit der Infrastrukturen. Vor diesem Hintergrund hat der Begriff der Resilienz gerade auch im Bereich der Entwicklung der Infrastrukturen eine besondere Relevanz erhalten (s.u.).

Zwischen den drei Säulen der Nachhaltigkeit bestehen durchaus Spannungsverhältnisse, die sich insbesondere auch in unterschiedlichen infrastrukturpolitischen Diskursen widerspiegeln (vgl. Libbe 2015 b). Dies zeigt sich beispielsweise dort, wo der unhinterfragte Ausbau von ressourcenintensiven Infrastrukturen (insbesondere Straßenbau) immer noch als Voraussetzung für Wettbewerbsfähigkeit und Wachstum angesehen wird. Darüber hinaus ist die Finanzierung von Infrastrukturen seit etlichen Jahren ein Dauerbrenner. Hierbei dreht sich die Debatte aber zumeist um die Frage notwendiger alternativer Finanzierungsformen und damit auch eine stärkere Einbindung des privaten Banken- und Bausektors und weniger um die Frage, wie sich eine nachhaltige Finanzierung und eine nachhaltige Infrastrukturgestaltung in Einklang bringen lassen. Gerade aber eine solche „Kopplung“ von Finanzierung und energieeffizientem und ressourcenschonendem Infrastrukturausbau könnte den gordischen Knoten in sich widersprüchlicher Diskurse durchtrennen helfen.

Resilienz

Die Debatte um Resilienz ist jüngerer Natur und wird in der Regel als Teil der umfassenderen Nachhaltigkeitsdebatte angeführt (vgl. auch Kapitel I 5.3). So gehen v. Gleich et al. (2016) davon aus, dass Resilienz sich in die Debatte um Strategien einer nachhaltigen Entwicklung, einordnen lässt. Diese Strategien sind dabei Effizienz, Konsistenz, Suffizienz und mit Blick auf die Gestaltungsfrage der Systeme Resilienz. Insofern wird Resilienz als Teil der Nachhaltigkeit interpretiert.

Resiliente Infrastrukturen sind eine Grundvoraussetzung für eine sichere Versorgung der Gesellschaft, d. h. sie schließen an das Leitbild der Daseinsvorsorge an. Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass die Resilienzdebatte die Nachhaltigkeitsdebatte um den Aspekt des Risikos bzw. des Umgangs mit Unsicherheit erweitert. Die Resilienzdebatte selbst ist wiederum im Kontext der Diskussion um kritische Infrastrukturen von hoher Relevanz (Fekete et al. 2016) und ist von daher hochgradig anschlussfähig an die Weiterentwicklung der Leitbilder von Infrastrukturen. Eng damit verbunden sind auch die Herausforderungen, die sich aus den zunehmenden Interdependenzen zwischen den Infrastrukturen ergeben. Blickt man auf das Zusammenwachsen von Infrastruktursystemen, wie beispielsweise die Sektorkopplung von Strom und Verkehr, so ist davon auszugehen, dass für die bislang überwiegend getrennten Infrastruktursysteme neue Leitbilder bzw. ergänzende Orientierungen erforderlich werden. Auch hinsichtlich der Anpassung an den Klimawandel steht die (Klima-)Resilienz von Infrastrukturen bzw. der Ver- und Entsorgungssysteme und somit die Frage der Strukturen der Systeme im Vordergrund.

Resilienz ist demnach eine Eigenschaft des Systems und beschreibt, wie das System auf Fehler oder Ereignisse reagiert, unabhängig von der Wahrscheinlichkeit des Eintritts des Störfalls. Vereinfacht ausgedrückt zielt Resilienz weniger darauf ab, Gefährdungen zu minimieren, vielmehr wird das Versprechen formuliert, in einer Welt zunehmender Bedrohungen und Unsicherheiten, die nicht (vollständig) bekannt und vorhersehbar sind, Sicherheiten zu ermöglichen (High impact / low probability). Resilienz beschreibt also die Fähigkeit eines Systems, seine Dienstleistungen auch unter Stress und in Umgebungen aufrechtzuerhalten, die durch massive äußere Störungen und interne Ausfälle gekennzeichnet sind (v. Gleich u.a. 2010).

Dieser erweiterte Blick auch auf unerwartete Ereignisse, wie er mit dem Begriff der Resilienz verbunden ist, erweist sich für die Infrastrukturen zumindest aus drei Gründen als bedeutungsvoll: Einerseits hängen wir in immer stärkerem Maße von den Infrastrukturen ab (bspw. Energie und Internet: „al-

ways on“), andererseits nehmen die Interdependenzen zwischen den Infrastrukturen deutlich zu (bspw. Energie und IKT; Strom und Mobilität). Mithin steigt die Möglichkeit, dass Störereignisse in einem Infrastruktursystem auch in anderen Infrastruktursystemen zu Kaskadeneffekten führen. Schließlich ist im Kontext der Energiewende ein grundlegender Umbau insbesondere der energiebezogenen Infrastrukturen zu beobachten, mit der Konsequenz, dass auch die Systemeigenschaften sich verändern.

In Verbindung mit dem Klimawandel ergeben sich neue Herausforderungen für die bestehenden und sich entwickelnden Infrastruktursysteme, die letztlich neue Leitbilder der Infrastrukturentwicklung erforderlich machen. Das Leitbild der (Klima-) Resilienz ist für die Infrastrukturentwicklung insofern von hoher Relevanz.

Die Anschlussfähigkeit des Begriffs der Resilienz erweist sich grundsätzlich als groß:

- Zum einen ist der Resilienzbegriff im Kontext der Debatte um kritische Infrastrukturen bereits geläufig und damit anschlussfähig.
- Das Vorsorgeprinzip als eines der zentralen umweltpolitischen Prinzipien mit seiner antizipatorischen Logik hat durchaus enge Verbindungen zu dem Begriff der „Resilienz“ (vgl. Sage/Zebrowski 2016).
- Schließlich steht die Begrifflichkeit in einer engen Verbindung zu einer grundsätzlichen Blickwende, die die Resilienz mit Bezug auf Infrastruktursysteme mit sich bringt: „Moving from technology-centric to community-centric, from artefact-oriented to service-oriented approach, from ownership to sharing and accessibility, and from protection to evolution and adaptation to natural and man made hazards“ (Beigi 2016: ohne Seitenangabe).

Die Diskussion um das Verständnis von Resilienz ist breit. Fisher (2015) systematisiert die wissenschaftliche Diskussion nach zwei Formen: (i) die Fähigkeit eines Systems, nach Stress wieder in den Ausgangszustand zurückzukehren („ability of a system to bounce back after stress“) (Dahm et al. 2014) und (ii) die Kapazität eines Systems sich anzupassen oder zu transformieren in Reaktion bspw. auf extreme Schocks („the capacity of social-ecological systems to adapt or transform in response to unfamiliar, unexpected and extreme shocks“) (Carpenter 2012).

Demnach kann man zwei generell verschiedene zentrale Fähigkeiten und Zielzustände bei der Diskussion um resiliente Systeme unterscheiden:

- a) die Fähigkeit eines Systems, Stress zu absorbieren oder nach Stress wieder in den Ausgangszustand zurückzukehren, d.h. den Status Quo zu erhalten (Bewältigungsfähigkeit, einschließlich von Widerstands- und Erholungsfähigkeit);
- b) die Kapazität eines Systems sich in Reaktion auf extreme Schocks oder bei einer sich wandelnden Umwelt anzupassen oder sich pro-aktiv zu transformieren, d.h. sich in Richtung eines neuen Systemzustands weiterzuentwickeln (Anpassungs- oder Transformationsfähigkeit).

2.8 Gestaltungsprinzipien für resiliente Infrastrukturen

Nachfolgend wird auf Dimensionen und Systemeigenschaften resilienter Infrastrukturen fokussiert. Deutlich wird dabei, dass vielfältige theoretische Rahmen oder auch Eigenschaften bzw. Prinzipien in Bezug auf Resilienz entwickelt werden, dass aber wenig Orientierung und Einigkeit dahingehend besteht, wie diese in die Praxis umgesetzt werden (vgl. Labaka et al. 2016: 23). Dies gilt umso mehr für den Bereich der kritischen Infrastrukturen, wo zudem wenig empirische Forschung und wenige Fallstudien vorhanden sind, die die Resilienzkriterien der kritischen Infrastrukturen in den Fokus nehmen.

Dimensionen der Resilienz

Labaka et al. (2016) haben mit Blick auf kritische Infrastrukturen einerseits differenziert nach interner und externer Resilienz und andererseits nach den vier internen (und externen) Dimensionen („resilience dimensions“) die für die Resilienz des Systems entscheidend sind. Sie unterscheiden – letztlich dem Verständnis von Infrastrukturen als sozio-technische Systeme folgend – diese nach den technischen, organisatorischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen, die durch spezifische Strategien („resilience policies“) gestaltet werden und für die technische Resilienz nach vier Dimensionen differenziert wird, u.a. „Design und Konstruktion“ und „Unterhaltung“. Die Relevanz der unterschiedlichen Resilienzdimensionen Blick auf die formulierten Eigenschaften des Systems (prevention, absorption, recovery) wurden dabei durch ein Expertenpanel im Sinne von sehr hoch, hoch, normal und niedrig bewertet (vgl. Abbildung 6). Demnach kommt der „technischen Resilienz“ mit Blick auf das „Safety Design and Construction“ (als resilience policy) insbesondere für die Prävention und der Absorption eine sehr hohe Bedeutung zu, während die Bereiche der ökonomischen und sozialen Resilienz von großer Bedeutung mit Blick auf die Phase „Recovery“ sind. Dies verdeutlicht, dass im Kontext von Infrastrukturen als sozio-technischen Systemen die Resilienz keineswegs allein als technische Resilienz verstanden werden kann, sondern dass den anderen Dimensionen für die Beurteilung des Systems ebenso große Bedeutung zukommt. Interessant ist, dass Labaka u.a. auch auf ökonomische und soziale Resilienz abheben, was auf die Erbringung von Grunddienstleistungen für die Gesellschaft verweist. Hingegen wird die für die Regulation des infrastrukturellen Systems zentrale institutionelle Dimension in dieser Studie vernachlässigt.

Abbildung 6: Resilienzdimensionen, Resilienzstrategien und Phasen der Resilienz (Prävention, Absorption und Erholung)

	Resilience dimensions	Resilience policies	Prevention	Absorption	Recovery
Internal resilience	Technical resilience	CI Safety Design and Construction	Very high	Very high	High
		CI Maintenance	High	Regular	Low
		CI Data Acquisition and Monitoring System	High	High	High
		CI Crisis Response Equipment	Low	Very high	High
	Organizational resilience	CI Organizational Procedures for Crisis Management	High	Very high	High
		CI Top Management Commitment	Very high	Very high	High
		CI Crisis Manager Preparation	Very high	Very high	High
		CI Operator Preparation	Regular	Very high	Very high
	Economic resilience	CI Crisis Response Budget	Low	Regular	Very high
External resilience	Technical resilience	External Crisis Response Equipment	Very low	High	High
	Organizational resilience	First Responder Preparation	Very low	High	High
		Government Preparation	Low	High	High
		Trusted Network Community	Low	High	High
		Crisis Regulation and Legislation	Very high	Regular	Regular
	Economic resilience	Public Crisis Response Budget	Very low	Regular	Very high
	Social resilience	Societal Situation Awareness	Low	High	Very high

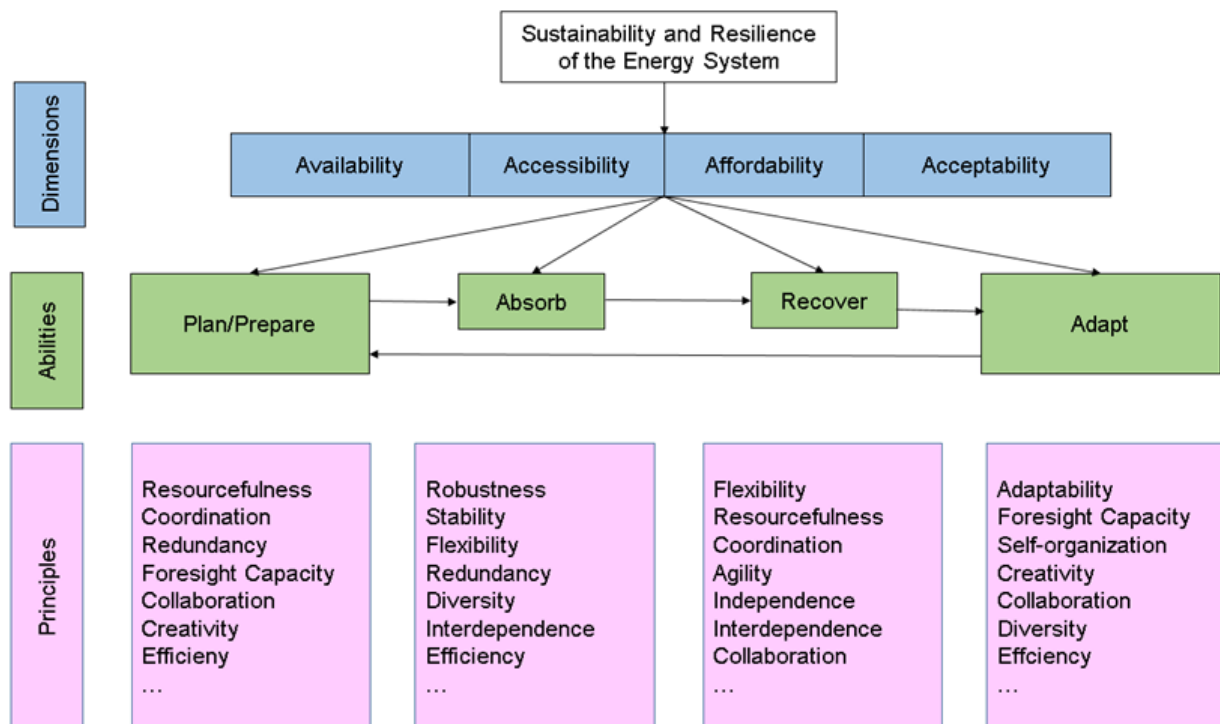
Quelle: Labaka, et al. 2016: 27

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Resilienz sozio-technischer Systeme sowohl von der konkreten vielfach betrieblichen Organisation des sozio-technischen Systems als auch von außerorganisatorischen, vielfach gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, abhängt.

Nachhaltigkeit und Resilienz

Sharif und Yamagata (2016) haben in einer Abbildung (s.u.) die Nachhaltigkeit und Resilienz eines Energiesystems dargestellt. Die Autoren interpretieren die Resilienz des Systems als eine Unterkategorie der Nachhaltigkeit des Systems. Der Resilienzzyklus (Abilities: Prepare, absorb, recover und adapt) verweist auf die Eigenschaften des Systems, welche getragen werden von Prinzipien, die auf technischen, organisatorischen aber auch gesellschaftlichen Dimensionen beruhen.

Abbildung 7: Dimensionen, Eigenschaften und Prinzipien eines resilienten Energiesystems



Quelle: Sharifi und Yamagata (2016)

Sharifi und Yamagata (2016) stellen auf der ersten Ebene Dimensionen auf, die sie mit Nachhaltigkeit verbinden, die aber eigentlich Kriterien der Daseinsvorsorge (vgl. Kapitel 4.1) darstellen (vgl. Abbildung 7). Ähnlich wie bei von Gleich et al. (2010 b) werden auf einer zweiten darunterliegenden Ebene Fähigkeiten (Abilities) und damit die Systemeigenschaften beschrieben, die den Umgang mit einem Störereignis verdeutlichen, also der Resilienz (prepare, absorb, recover vgl. auch oben Labaka et al. 2016) und zusätzlich die Fähigkeit der Neukonfiguration (adapt), die bei von Gleich unter Innovationsfähigkeit gefasst wird, also letztlich auf einem höheren (transformierten) Systemniveau resilienter zu sein bzw. resilientere Systemeigenschaften zu erbringen. Auf einer dritten Ebene werden Prinzipien (Principles) benannt, die die Resilienz des Systems beschreiben. Die Autoren beziehen diese Prinzipien aus der Analyse verschiedener Studien, diese sollen grundsätzlich auf alle resilienten Systeme anwendbar sein. Diese Prinzipien sind sehr weit gefasst und verweisen damit auf ein umfassendes Verständnis von Resilienz i.S. der oben in Kapitel 4.1 benannten Stressabsorption unter Rückkehr in den Ausgangszustand einerseits, der Fähigkeit zur Weiterentwicklung des Systems andererseits. Da

aber auch Dimensionen wie Flexibilität, Kreativität usw. benannt werden, geht es in letzterer Hinsicht also auch um die Fähigkeit der pro-aktiven Anpassung und Transformation.

Die erste Ebene der Darstellung umfasst die vier Dimensionen einer Energieversorgung, die dem Leitbild der Daseinsvorsorge, unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskriterien, entsprechen. Um Verfügbarkeit (Angebot von Energieressourcen und Infrastruktur), Zugänglichkeit (hier räumliche Nähe zwischen Angebot und Nachfrage), Erschwinglichkeit (bezahlbare Leistungen) und Akzeptanz (Effizienz der Energieerzeugung, -verteilung und -transmission u. a.) zu erreichen und abzusichern, muss ein Energiesystem bestimmte Eigenschaften entwickeln. Unter anderem muss es die Fähigkeit haben, auf alle möglichen Störungen vorbereitet zu sein, sie absorbieren zu können, sich von ihnen zu erholen und sich ihnen besser anpassen zu können. Diese vier Eigenschaften eines resilienten Systems sind zusätzlich miteinander verknüpft und werden in der zweiten Ebene der Grafik dargestellt.

Prinzipien und Schlüsselbegriffe für resiliente Infrastrukturen

Schon die bisherige Analyse zeigt, dass in der Literatur mit den Begrifflichkeiten und Konzepten, die mit Resilienz verbunden werden, nicht einheitlich umgegangen wird. In Überblicksartikeln, wie bspw. Hosseini (2016), Labaka et al. (2016) und Martin-Breen et al. (2011), werden eine Reihe von Systemen unter dem Blickwinkel der Resilienz betrachtet. Das am weitesten verbreitete Konzept umfasst dabei die Begriffe *Robustness*, *Redundancy*, *Resourcefulness* und *Rapidity* (Bruneau et al. 2013 und Bahmra et al. 2011). Diese wurden mit weiteren, damit verbundenen Begriffen, zu den folgenden Begriffspaaren ergänzt:

- ▶ Robustheit (*Robustness*) und Stabilität (*Stability*),
- ▶ Redundanz (*Redundancy*), Fehlertoleranz (*Fault-tolerance*) und Vielfalt (*Diversity*),
- ▶ Modularität (*Modularity*) und Hierarchie (*Hierarchy*),
- ▶ Kreativität und Überlebensinstinkt (*Resourcefulness* und *Survivability*),
- ▶ Agilität und Schnelligkeit (*Rapidity* und *Agility*) sowie auch
- ▶ Flexibilität (*Flexibility*).

Robustheit beschreibt bspw. die Fähigkeit eines Systems, plötzlichen und kurzzeitigen, in- und externen Schocks zu widerstehen und die Hauptfunktionen des Systems abzusichern.

Redundanz – im Sinne von Puffer und Reservekapazitäten – beschreibt die Notwendigkeit, dass der Ausfall von Komponenten eines Systems von anderen Komponenten mit gleichen oder überschneidenden Funktionen kompensiert werden kann. Dies soll dazu beitragen, dass der Teilausfall bestimmter Komponenten nicht das Gesamtsystem außer Kraft setzt. Die Herausforderung liegt dabei darin, einen Ausgleich zwischen der notwendigen Redundanz und den zusätzlichen Kosten und des Aufwands zu finden. Bezogen auf Infrastrukturen können Reserven dabei gleichermaßen technische Komponenten oder auch personelle Reserven bedeuten.

Vielfalt bzw. Diversität wird in der Regel als ein zentrales Element von Resilienz verstanden (bspw. Ausdifferenzierung der Energieträger, wie sie bspw. durch erneuerbare Energien ermöglicht werden). Mit der Diversität kann, bei losen Kopplungen, eine Optionsvielfalt verbunden sein. Zugleich wird aber auch darauf verwiesen, dass eine Reduktion der Effizienz die Folge sein kann. Lose Kopplungen realisiert durch Puffer können so Lovins und Lovins (2001) dazu beitragen, dass das System „forgiving“ ist, also Auswirkungen des Versagens vermindert werden. Das von diesen Autoren auch genannte „sichere Fehlverhalten“ zielt darauf ab, dass solche Reaktionen ausgelöst werden, die weitreichende Schädigungen vermeiden.

Modularität konzentriert sich auf das System und kann die Resilienz erhöhen, sodass ein Ausfall eines Moduls nicht zu einer Störung des Gesamtsystems führen muss. Die Herausforderung besteht dann

aber wiederum in der Art der Beziehungen zwischen den Modulen, also lose Kopplung und der Standardisierung der Module.

Hierarchisierung der Systemebenen: diese soll dazu beitragen, dass eine Störung auf einer tieferen Systemebene nicht zu einer Störung des Gesamtsystems führen muss – das Gesamtsystem wäre dann zuverlässiger als die Teilsysteme.

Flexibilität bezieht sich primär auf die Fähigkeit eines Systems, sich auf den Umgang mit Veränderungen durch mehr oder weniger präventive Systemauslegung vorzubereiten (was die Möglichkeit des Systemwechsels i.S. der Erhöhung von Flexibilitätspotenzialen einschließt).

2.9 Resilienz Aspekte in unterschiedlichen Bereichen

Generell gilt, dass Resilienz von Infrastrukturen die Frage nach der Art und Weise der Bereitstellung der Infrastrukturdienstleistungen in den Fokus nimmt, die sich je nach Infrastrukturbereichen unterscheiden.

Um das Verständnis für die konkrete Verwendung des Resilienzbegriffes zu verbessern, wird im Folgenden auf die Diskurse zur Resilienz in den einzelnen Infrastruktursystemen eingegangen. Dabei zeigt der Überblick über Metaanalysen zum (wissenschaftlichen) Resilienzverständnis in unterschiedlichen Infrastrukturbereichen, dass die oben in der Abbildung 7 angeführten Prinzipien in allen Bereichen mehr oder weniger ähnlich genutzt werden. In der Regel werden aber auch weitere Begrifflichkeiten eingeführt, die sich in anderen Bereichen nicht zwangsläufig finden.

2.9.1 Resilienz von Elektrizitätsinfrastrukturen

Elektrizitätsinfrastrukturen sind komplexe und geographisch weit verteilte Systeme, die Elektrizität mit einem bestimmten Qualitätslevel (Spannung, Frequenz etc.) als Dienstleistung bereitstellen (Arghandeh et al. 2015). Sie ist jedoch noch im stärkeren Maße als die vorhergenannten Infrastrukturen von der Funktionsfähigkeit aller Teile des Netzes abhängig. Die Notwendigkeit zum konstanten Ausgleich von Angebot und Nachfrage im Netz stellt besondere Herausforderungen an die Resilienz der Infrastruktur.

Die Konzepte zur Beschreibung der Resilienz von Energieinfrastrukturen orientiert sich ebenfalls an den bereits erwähnten Begriffen von *Robustness*, *Redundancy*, *Resourcefulness* und *Rapidity*. Diese werden um die Konzepte der Modularität, der verteilten Entscheidungskompetenzen (*Distributed decision-making*) sowie der Unabhängigkeit (*Inter- und Independence*) und Selbstorganisation (*Self-organization*) (Sharifi et al. 2015 und Arghandeh et al. 2015) erweitert. Diese lassen sich unter dem Oberbegriff der Modularität zusammenfassen, welche damit als Voraussetzung für die Resilienz des komplexen und verteilten Elektrizitätssystems anerkannt werden kann. Das Konzept der Modularität wird dabei um die Aspekte von Kollaboration (*Collaboration*) und Koordination (*Coordination*) ergänzt, die für ein resilientes Gesamtsystem einzelner Module unverzichtbar erscheinen.

2.9.2 Resilienz von Wasserinfrastrukturen

Im Kontext des aktuellen Veränderungsdrucks im Bereich der Wasserinfrastrukturen spielen Prinzipien der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit eine weit größere Rolle als die der Resilienz und Robustheit. Im Umgang mit Komplexität und Unsicherheit wird auf eine verbesserte adaptive (technisch-wirtschaftliche) Systemsteuerung, modular ergänzende alternative technische Systemlösungen sowie die Notwendigkeit integrierter Planung verwiesen (z. B. Libbe/Nickel 2016, Kluge/Libbe 2010, Pahl-Woestl u.a. 2008, Kluge/Libbe 2006).

Gleichwohl ist der Begriff der Resilienz insofern von Bedeutung, als den Wasserinfrastrukturen in Bezug auf die Klimaresilienz von Räumen eine zentrale Rolle zukommt. Hier geht es insbesondere um eine wassersensible Stadtentwicklung, die die Koordination (*Coordination*) von städtischer Planung,

Infrastrukturbetreibern und anderen Akteuren voraussetzt und die verteilten Entscheidungskompetenzen zusammenführt (*Distributed decision-making*). Dabei handelt es sich auf der kommunalen Ebene um einen selbstorganisierten Prozess (*Self-organization*) im Rahmen der Selbstverwaltung. Kritisch hinterfragt wird dabei aber auch, inwieweit es sinnvoll ist, die Resilienz eines vorhandenen Infrastruktursystems zu erhöhen anstatt die Pfadabhängigkeit zu überwinden und zu einem anderen und damit auch resilienteren System zukommen. Insofern bietet die Resilienz Betrachtung keine überzeugende Antwort, ob eine Transformation von Infrastruktur wünschenswert und sinnvoll ist sondern der Kontext muss i.S. des dynamischen Reagierens auf Veränderungsdruck letztlich ein erweiterter, Prinzipien der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit einbeziehender sein (vgl. zum Konzept der „Flexibilität“ Bedtke/Gawel 2015).

Eine Operationalisierung der Resilienzkriterien für Wasserinfrastrukturen haben Fekkek u.a. (2016: 46) vorgenommen und benennen als Kriterien Widerstandsfähigkeit und Robustheit, Verlässlichkeit, Funktions- und Versorgungssicherheit, Redundanz und Diversität, Reaktionsfähigkeit und Lernfähigkeit. Auch hier zeigt sich, dass die Zuweisung solcher Kriterien keineswegs eindeutig ist und Überschneidungen zur Diskussion um nachhaltige flexible Infrastrukturen bestehen. Der Handlungsrahmen und Vorschläge der Maßnahmenentwicklung beziehen sich dabei gleichermaßen auf das technische, wie institutionelle und auch organisatorische Maßnahmen (quasi als Resilienzbereiche).

2.9.3 Resilienz von Lieferketten und damit verbundenen Verkehrsinfrastrukturen

Eine Lieferkette (Supply Chain) ist als die Gesamtheit der Unternehmen und deren Materialaustauschbeziehungen, die für die Erstellung eines Produktes oder Dienstleistung notwendig sind, definiert (Mentzer et al. 2001). Als die wesentlichen Systemdienstleistungen von Lieferketten werden die (Qualitäts-)Kriterien von Zeit, Ort und Qualität angesehen, wobei die Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur als notwendige Voraussetzung für die Materialströme verbleibt.

Im Bereich der Lieferketten spielt der Resilienzbegriff eine zunehmende Rolle im Rahmen der Supply Chain Risk Management (SCRM) durch steigende weltweite Vernetzung und den wachsende Risiken (Ponis, Koronis 2012). Die Herausforderungen durch Störungen der Verkehrsinfrastrukturen spielen neben dem Umgang mit Produktionsausfällen, Qualitätsmängeln oder auch Nachfrageänderung eine wichtige Rolle.

Bei einem Vergleich der in der Literatur verwendeten Begriffe und Konzepte wird deutlich, dass vielfach auf Begriffe der allgemeinen Resilienzdiskussion, wie flexible Strukturen Diversität und Redundanz, zurückgegriffen wird. Diese werden aber mit weiteren, die Systemdienstleistungen bestimmenden, spezifischen Begriffen wie Informationsverteilung, Geschwindigkeit und insbesondere Kollaboration erweitert und konkretisiert (Ponis, Koronis 2012 und Kamalahamdi et al. 2015).

2.9.4 Resilienz von IKT-Infrastrukturen

Die IKT-Infrastruktur kann als ein weltweites Netzwerk, dessen Hauptfunktion die Kommunikation von Informationen ist, verstanden werden (UNESCAP 2014). Die reinen technischen Komponenten werden dabei um den Aspekt des Internets als komplexes, soziales System ergänzt, sodass man es schlussendlich als sozio-technisch-ökonomisches System auffassen kann (DeVries 2010).

Im Fokus stehen der Resilienz von IKT-Infrastrukturen die Dimensionen der Daseinsvorsorge, Verfügbarkeit und Verlässlichkeit. Als wichtige Systemeigenschaft wird die Überlebensfähigkeit, die unter anderem als Toleranz gegenüber Defekten und Unterbrechungen von Kommunikationspfaden beschrieben werden kann, genannt. Mit Blick auf die Prinzipien werden insbesondere die Redundanz gegenüber Hardware und Software Störungen, die (geographische) Diversität (großräumige Störungen) und Delegation von Entscheidungskompetenzen zur Reduzierung der Komplexität aufgeführt (Sterbenz et al. 2010 und DeVries 2010).

2.9.5 Infrastrukturen und Resilienz – Zwischenfazit

Im vorangegangenen Abschnitt wurde der Begriff der Resilienz als Leitbild für Infrastrukturen und deren Behandlung in der (wissenschaftlichen) Literatur eingehender analysiert. Die zentralen Erkenntnisse dieses Abschnitts bestehen darin, dass Nachhaltigkeit und Resilienz unterschiedliche Fokusse haben. Deutlich wird zudem, dass die Frage, ob es sich dabei um ein Leitbild handelt oder eine Systemeigenschaft, die auch als Ausprägung von Nachhaltigkeit eingeordnet werden könnte, stark vom Betrachtungsrahmen abhängt. Als Leitbild erweitert Resilienz die Nachhaltigkeitsdebatte um den Aspekt des Risikos bzw. des Umgangs mit Unsicherheit. Vorwiegend konzentriert sich die Debatte um Resilienz jedoch auf Systemeigenschaften vor dem Hintergrund nicht vorhersehbarer Störereignisse. Hier geht es um den Umgang mit unvorhergesehenen Ereignissen (Schocks) und die damit verbundene Fähigkeit des Systems, sich von den Folgen zu erholen und in den Ausgangszustand zurückzukehren bzw. einen neuen Systemzustand zu erreichen.

In der Literatur wird betont, dass insbesondere die theoretische Debatte um Resilienz vielfältig ist, dass aber die Praxisrelevanz bislang eher begrenzt ist, weil über die Resilienz der Infrastruktursysteme noch eher wenig bekannt ist. Dies gilt umso mehr in Zeiten in denen sich die Infrastruktursysteme infolge von technologischen Sprüngen und veränderten klima- und energiepolitischen Anforderungen zum Teil drastisch verändern und damit die Erfahrungen mit dem System in der Transition oder auch dem neuen System begrenzt sind. Derzeitig werden noch die grundlegenden Begriffe und Konzepte der Resilienz und deren praktische Anwendung in den Diskursen der einzelnen Infrastruktursysteme erörtert.

Hilfsweise werden Vorstellungen über mögliche resilienzfördernde Prinzipien der Infrastruktursysteme diskutiert, wie sie bspw. mit den Begrifflichkeiten Fehlerfreundlichkeit, Redundanz und Diversität etc. benannt werden. Inwieweit diese Prinzipien tatsächlich resilienzfördernd für das Gesamtsystem sind, entscheidet dann allerdings die Systemarchitektur und die Beziehungen zwischen den Komponenten. Dies gilt umso mehr, wenn sich neue Kopplungen zwischen bislang getrennten Infrastruktursystemen ergeben.

3 Leitbild und Prinzipien für zukunftsfähige und klimaresiliente Infrastrukturen

Infrastrukturen sind gegenwärtig vielfältigen Herausforderungen und Anforderungen unterworfen. Von besonderer Bedeutung ist dabei der globale Klimawandel, der besondere Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Infrastrukturen stellt. Zugleich mangelt es derzeit an einer systematischen Übereinkunft darüber, welche infrastrukturübergreifenden Schlüsse daraus zu ziehen sind. Es besteht kein Einvernehmen dahingehend, was unter zukunftsfähigen und klimaresilienten Infrastrukturen zu verstehen ist. Dieser Tatbestand ist auch dem Sachverhalt geschuldet, dass Infrastrukturen kein eigenständiges Politikfeld sind, sondern durch verschiedene und auch konkurrierende Politikfelder beeinflusst werden. Damit verbunden bestehen erhebliche Differenzen zwischen Entscheidungsträgern auf unterschiedlichen politischen Ebenen sowie innerhalb der einzelnen Infrastruktursektoren hinsichtlich der Frage, in welche Richtung Infrastrukturen weiter zu entwickeln sind, sodass sie den globalen Problemen gerecht werden.

Infrastrukturen sind für eine nachhaltige Entwicklung essentiell. Nur wenn die über sie erbrachten Dienstleistungen wirtschaftlichen Wohlstand und soziale Stabilität sichern und sie dabei zugleich durch Energieeffizienz, Ressourcenschonung sowie Klimaneutralität gekennzeichnet sind, kann von zukunftsfähigen Infrastrukturen gesprochen werden.

Nachfolgend wird ein Vorschlag für ein konzeptionelles Leitbild zu zukunftsfähigen und (klima-) resilienten Infrastrukturen entwickelt und mit Prinzipien unterlegt.

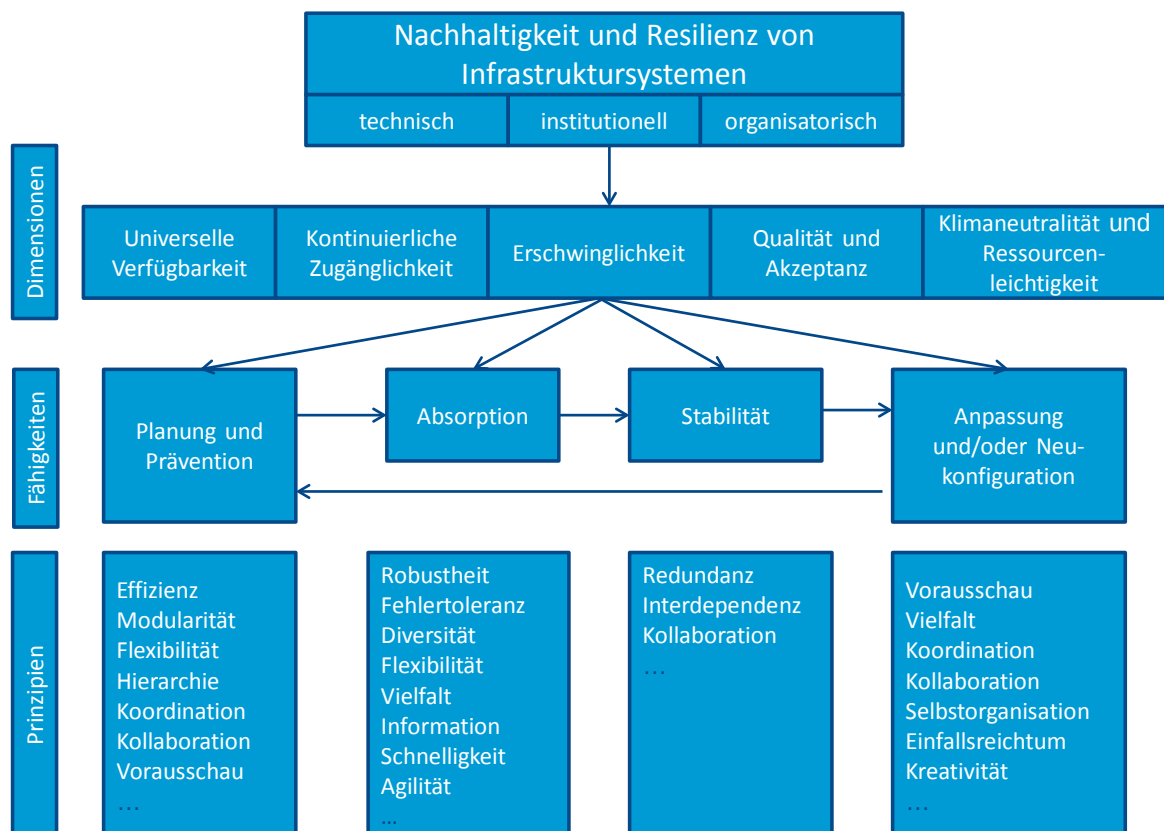
Leitbild zukunftsfähige und klimaresiliente Infrastrukturen

Zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen ermöglichen einen universellen, kontinuierlichen, bezahlbaren und qualitativ hochwertigen Zugang zu den über sie erbrachten Dienstleistungen. Sie orientieren sich an gesellschaftlichen Bedürfnissen und tragen zu einer suffizienten Wirtschafts- und Lebensweise bei. Ihr Bau und Betrieb erfolgt klimaneutral und ressourcenschonend. Elementar ist zudem ihre finanzielle Tragfähigkeit, sodass dauerhafte Belastungen künftiger Generationen vermieden werden.

Zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen können aufgrund ihrer Systemarchitektur externe Herausforderungen und Schocks auffangen, sodass ihre (Haupt-)Funktion nicht gefährdet wird. Sie sind zugleich solche, die die Möglichkeit des Systemwechsels in sich bergen (Transformation), in dem sie Offenheit und Anreize für das Ausprobieren neuer Lösungen bieten. Diese Fähigkeiten gelten in technologischer, institutioneller, organisatorischer Hinsicht.

Das so formulierte Leitbild fungiert als übergreifender normativer Referenzpunkt. Es bringt zum Ausdruck, wie zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen sein sollen. Es zielt weniger auf eine spezifische materielle Gestalt von Infrastrukturen sondern auf Prinzipien ihrer stetigen Überprüfung und Weiterentwicklung. Ausgehend von diesem Leitbild lassen sich Zielvorstellungen für einzelne Infrastrukturen in ihren jeweiligen räumlichen Kontexten und im Dialog unterschiedlicher Akteure entwickeln.

Abbildung 8: Nachhaltigkeit und Resilienz von Infrastruktursystemen



Quelle: KLARIS

Dieses Leitbild ist, dies sei hier betont, ein Angebot. Es kann im Kontext von bundespolitischen bzw. umweltpolitischen Diskursen eingetragen und weiterentwickelt werden. In jedem Fall bedarf es für seine Implementierung einer entsprechenden Umsetzungsstrategie. Zukunftsfähige und (klima-)re-siliente Infrastrukturen sollten daher auch elementarer Bestandteil der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung sowie des Integrierten Umweltprogramms 2030 des BMUB sein.

Mit dem Fokus auf Zukunftsfähigkeit und (Klima-) Resilienz sind das BMUB sowie das UBA Schlüsselakteure für den weiteren Prozess der Leitbildimplementierung. Im fachübergreifenden Dialog sowohl innerhalb des UBA als auch über Bundesministerien sowie deren nachgeordnete Behörden hinweg gilt es das Leitbild weiter anzureichern und in die Breite zu tragen. Das Leitbild der Zukunftsfähigen und (klima-)resilienten Infrastrukturen sollte Orientierung für alle infrastrukturelevanten Politikfelder sein. In den Dialog eingebunden werden sollten daher auch die Länder sowie nicht zuletzt die Kommunen. Eingebunden werden sollten aber auch solche Akteure aus öffentlicher Hand, Verbänden oder sonstigen Intermediären, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass einem solchen Prozess offen gegenüber stehen.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Genese von Leitbildern ist durch bestimmte historische Kontexte geprägt. Der Anlass ihrer Entstehung ist regelmäßig ausgelöst durch spezifische gesellschaftliche, stadt- und raumentwicklungspolitische, soziale, ökologische oder ökonomische Problemlagen. Auch technologische Entwicklungen werden durch Leitbilder geprägt und Leitbilder wirken sich ihrerseits auf Technologien aus. Insofern sind auch Infrastrukturen sind in Phasen ihrer Entstehung immer wieder mit unterschiedlichen Entwicklungsvorstellungen verbunden gewesen. Nicht nur unterschiedliche Techniken und technische Systeme sondern auch unterschiedliche Leitkonzepte konkurrieren dabei miteinander.

Konzeptionelle Leitbilder können technologischen Wandel und die Überwindung der Pfadabhängigkeit eines vorherrschenden Infrastruktursystems anstoßen. Einmal erfolgreich bedürfen konzeptionelle Leitvorstellungen ihrer spezifischen Ausprägung. Hier konkretisieren Gestaltungsleitbilder das Konzept mit Blick auf spezifische Handlungsbereiche und geben somit Orientierung mit Blick auf Technologien, institutionelle Rahmenbedingungen und Organisationsformen.

Leitbildgenese wie Leitbildumsetzung sind als ein Prozess sukzessiver Annäherung zu verstehen. Hierbei kommt Schlüsselakteuren und Change Agents eine zentrale Rolle zu, indem sie zum Nachdenken über Leitvorstellungen aktivieren und Ideen in die Breite tragen. Der Prozess der Umsetzung ist dabei meist schwieriger als jener der Leitbildentwicklung und bedarf umfassender Formen der Beteiligung. Wichtig ist es darüber hinaus, dass der Prozess kohärent über verschiedene Politikfelder hinweg erfolgt und transparent nachvollziehbar ist. Dazu bedarf es insbesondere bei den Schlüsselakteuren notwendiger Weise auch entsprechender finanzieller, personeller, wissensmäßiger Ressourcen, um den Prozess realisieren zu können.

Ein übergreifendes Leitbild für zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen gibt es bisher nicht. In Anbetracht der aktuell sehr dynamischen Entwicklung in unterschiedlichen Infrastrukturbereichen und zahlreichen Wechselwirkungen zwischen Infrastrukturen muss dies als ein Defizit angesehen werden. Anknüpfungspunkte für ein solches übergreifendes Leitbild bieten die Konzepte der Daseinsvorsorge, der Nachhaltigkeit wie der Resilienz. Diese stehen in einer systematischen Beziehung zueinander.

Das hier entwickelte Leitbild für zukunftsfähige und (klima-)resiliente Infrastrukturen bringt diese konzeptionelle Beziehung zum Ausdruck und stellt damit zugleich einen normativen Referenzpunkt für den weiteren Diskurs über die Weiterentwicklung von Infrastrukturen da. Es betont die gesellschaftliche Funktion von infrastrukturbezogenen Grunddienstleistungen und verdeutlicht zugleich,

dass Zukunftsfähigkeit vor allem auch bedeutet, dass diese notwendigen Grunddienstleistungen so erbracht werden müssen, dass der Bau und Betrieb von Infrastrukturen klimaneutral und ressourcenschonend erfolgt und für künftige Generationen bezahlbar bleibt. Da Infrastrukturen zudem maßgeblich das konsumptive Verhalten beeinflussen, sollten sie zu einer suffizienten Wirtschafts- und Lebensweise beitragen.

Zukunftsfähigkeit bedeutet, dass die infrastrukturelle Grunddienstleistung zu keinem Zeitpunkt gefährdet wird und Infrastrukturen zugleich in ihrer technischen, institutionellen und organisatorischen Konfiguration offen für Veränderung und Anpassung sind. Hierbei ist es hilfreich, auf Prinzipien der Infrastrukturgestaltung zurückzugreifen, wie sie gleichermaßen dem Resilienz- wie auch dem Transformationsdiskurs entnommen werden können. Am Beispiel der jeweils zu betrachtenden Infrastruktur und im spezifischen räumlichen Kontext können diese Prinzipien ihre Konkretion erfahren.

Das vorgelegte Leitbild ist ein Angebot an BMUB und UBA als Schlüsselakteure für den weiteren Prozess der Leitbildanreicherung und -implementierung. Es kann im Kontext von bundespolitischen bzw. umweltpolitischen Diskursen eingetragen und weiterentwickelt werden (etwa im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung oder des Integrierten Umweltprogramms 2030 des BMUB). In jedem Fall bedarf es für die Implementierung dieses Leitbildes einer entsprechenden Umsetzungsstrategie.

5 Literaturverzeichnis

- 50Hertz (o.J.): Die 50Hertz Stromautobahnen. 50Hertz Transmission GmbH, Berlin.
- 50Hertz, Amprion, TenneT, & TransnetBW. (2016). Szenariorahmen für die Netzentwicklungspläne Strom 2030 - Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Berlin, Bayreuth, Dortmund, Stuttgart: 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH.
- 50Hertz, TenneT, Amprion, Transnet BW (2016): Netzentwicklungsplan Strom 2025, Version 2015. Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. Zugriff (25.8.2016): http://www.netzentwicklungsplan.de/_NEP_file_transfer/NEP_2025_2_Entwurf_Teil1.pdf.
- Acatech (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Herausgegeben von der Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft und acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.
- AEE. (2016). *Metaanalyse - Flexibilität durch Kopplung von Strom, Wärme & Verkehr*. Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) e.V.
- AG Energiebilanzen (2016): Auswertungstabellen 1990 - 2015 (Stand Juli 2016). AG Energiebilanzen e.V., Berlin, Köln.
- Agora Energiewende (2016): Konsultationsdokument zum Netzentwicklungsplan Gas 2016: Versorgungssicherheit. Zugriff (25.08.2016): <http://www.fnb-gas.de/de/netzentwicklungsplan/nep-2016/nep-2016.html>.
- Aivalioti, S. (2015): Electricity Sector Adaptation to heat Wave. Sabin Center for Climate Change, Columbia Law School. Januar 2015.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2016): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. 1990 bis 2015. Online: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ausw_28072016_ovk.xls
- Arghandeh, Meier, Mehrmanesh, Mili (2015): On the Definition of Cyber-Physical Resilience in Power Systems. University of California-Berkeley und Virginia Polytechnic Institute and State University.
- ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2014): Leitbilder und Handlungsstrategien der Raumentwicklung. In: Deutschland 2013, Hannover.
- Arnold, Volker (1992): Theorie der Kollektivgüter, München.
- ATT/BDEW/DBVW/DVGW/DWA/VKU (Hrsg.) (2015): Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2015, Bonn.
- BABS (2013): Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS): Katalog möglicher Gefährdungen. Grundlage für Gefährdungsanalysen.
- BABS (2015): Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS): Nationale Gefährdungsanalyse – Ausfall Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Juni 2015.
- Bahmra, Dani, Burnard. (2011): Resilience: the concept, a literature review and future directions. In: International Journal of Production Research Vol. 49, No. 18, 15 September 2011, 5375–5393.
- Bauer, Gerhard (1987): Straßenbahn Archiv. 5, Transpress, Berlin 1987BBK (Hg.) (2014): Stromausfall. Grundlagen und Methoden zur Reduzierung des Ausfallrisikos der Stromversorgung. Wissenschaftsforum Band 12. Download: http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Wissenschaftsforum/Bd12_Stromausfall.pdf?__blob=publicationFile
- Bauknecht, Dierk; Funcke, Simon (2013): Dezentralisierung oder Zentralisierung der Stromversorgung: Was ist darunter zu verstehen? In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 63. Jg. (2013) Heft 8.
- BBK (2016): Sicherheit der Trinkwasserversorgung. Teil 1: Risikoanalyse. Praxis im Bevölkerungsschutz Band 15.
- BBK. (2010). *Krisenmanagement Stromausfall. Krisenmanagement bei einer großflächigen Unterbrechung der Stromversorgung am Beispiel Baden-Württemberg*. Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung) (2012): Trends der Siedlungsflächenentwicklung. BBSR-Analysen KOMPAKT 09/2012, Bonn.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung) (2015): Die Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus. BBSR-Analysen KOMPAKT 05/2015, Bonn.

BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2012): Wasserfakten im Überblick – Stand April 2012. [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125766C0003CBAF/\\$file/Wasserfakten%20im%20%20%C3%9Cberblick%20-%20freier%20Bereich%20April%202012_1.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125766C0003CBAF/$file/Wasserfakten%20im%20%20%C3%9Cberblick%20-%20freier%20Bereich%20April%202012_1.pdf). aufgerufen am 14.1.2014.

Beck, R., Caumanns, J., Großmann, J., Meissen, U., Schiller, J., Schulz, S.E., Tiemann, J., Tischer, J., Wolf, A., Wollina, M. (2014): IT und Internet als kritische Infrastruktur – vernetzte Sicherheit zum Schutz kritischer Infrastrukturen.

Beckmann, Klaus J. und Mathias Metzmacher (2016): Bewährte und innovative Impulse für städtische Mobilität und integrierte Stadtentwicklung – die Tram in Deutschland, in: Informationen zur Raumentwicklung, Heft 4/2016, S. 391–405.

Bedtke, Norman und Erik Gawel (2015): Flexibilität von Wasserinfrastruktursystemen – Konzepte und institutionelle Ansatzpunkte. In: Erik Gawel (2015): Die Governance der Wasserinfrastruktur. Band 2: Nachhaltigkeitsinstitutionen zur Steuerung von Wasserinfrastruktursystemen, Berlin.

Beigi, S. (2016): The timeline of resilience: a roadmap for cross operationalization of Resilience. Zugriff (22.7.2016): <http://pespmc1.vub.ac.be/ECCO/ECCO-Papers/Beigi-ResilienceTimeline.pdf>.

Benndorf, R., Bemicke, M., Bertram, A., Butz, W., Dettling, F., Drotleff, J., . . . Zietlow, B. (2014). Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).

Bernhardt, Christoph, Heiderose Kilper und Timothy Moss (Hrsg.) (2009): Im Interesse des Gemeinwohls. Regionale Gemeinschaftsgüter in Geschichte, Politik und Planung, Frankfurt/Main und New York.

Beyer, Jürgen (2006): Pfadabhängigkeit. Über institutionelle Kontinuität, anfällige Stabilität und fundamentalen Wandel, Frankfurt/Main und New York.

BFE (2003): Bundesamt für Energie BFE: Bericht über den Stromausfall in Italien am 28. September 2003, Bern, November 2003.

Birkmann, Jörn, Claudia Bach, Silvie Guhl, Maximilian Witting, Torsten Welle und Miron Schmude (2010): State of the Art der Forschung zur Verwundbarkeit Kritischer Infrastrukturen am Beispiel Strom/Stromausfall, Berlin (http://www.sicherheit-forschung.de/schriftenreihe/sr_v_v/sr_2.pdf, abgerufen am 30.10.2011).

Blake, S., Kimberlain, T.D., Berg, R.J., Cangialosi, J.P., Beven II, J.L. (2013): Tropical Cyclone Report Hurricane Sandy, National Hurricane center, February 2013.

BMBF (2015): Alles im Fluss. Eine Deutsche Wasserbilanz. Ein Projekt des BMBF (Bundesministeriums für Bildung und Forschung). <http://www.bmbf.wasserfluesse.de/#4>.

BMU (2014): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. Im Auftrag des BMU.

BMUB. (2016). Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMVI (2014): Netzallianz Digitales Deutschland. Kursbuch Netzausbau 2014. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

BMVI (2016a): Bundesverkehrswegeplan 2030. Entwurf März 2016. Zugriff (26.8.2016): <http://f-cdn-o-002.l.farm.core.cdn.streamfarm.net/18004initag/ondemand/3706initag/bmvi/bvwp2030/bvwp-2030-referentenentwurf.pdf>.

BMVI (2016b): Bundesverkehrswegeplan 2030 Kabinettsplan. Zugriff (26.8.2016): http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2030-kabinettsplan.pdf?__blob=publicationFile.

BMVI (2016c) Breitbandatlas. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) Referat K13 Neue Medien, Berlin. Zugriff (29.09.2016): http://www.zukunft-breitband.de/Breitband/DE/Technologie/Breitbandtechnologien/breitband-technologien_node.html

BMVI (2016d): Netzallianz Digitales Deutschland. Kursbuch Netzausbau 2016. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin.

BMVI (o.J.): Verkehrsprognose 2030. Zugriff (26.8.2016): https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/_verkehrsprognose-2030.html?nn=167760.

BMWi (2009a): Breitbandstrategie der Bundesregierung. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin.

BMWi (2009b): E-Energy - IKT basiertes Energiesystem der Zukunft. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin. Projektträger Multimedia im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

BMWi (2010): IKT-Strategie der Bundesregierung „Deutschland Digital 2015“. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin.

BMWi (2016): Digitale Strategie Deutschland 2025. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Abteilung Öffentlichkeitsarbeit, Berlin.

BNetzA (2007): Bericht der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen über die Systemstörung im deutschen und europäischen Verbundsystem am 4. November 2006.

BNetzA (2013): Ausbau der Gasfernleitungsnetze. Zugriff (25.8.2016): http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungundSmartGrid/Gas/gas-node.html.

BNetzA (2015a): Bedarfsermittlung 2024. Bestätigung Netzentwicklungsplan Strom (Zieljahr 2024). Zugriff (25.8.2016): http://data.netzausbau.de/2024/NEP/NEP2024_Bestaetigung.pdf.

BNetzA (2015b): Bundesbedarfsplan 2015. Zugriff (25.8.2016): <http://www.netzausbau.de/bedarfsermittlung/2024/bundesbedarfsplan/de.html>.

BNetzA (2016a): Genehmigung des Szenariorahmens für die Netzentwicklungspläne Strom 2017–2030. Zugriff (25.0.2016): http://data.netzausbau.de/2030/Szenariorahmen_2030_Genehmigung.pdf.

BNetzA (2016b): Szenarien für die Netzentwicklungspläne mit Zieljahr 2030 genehmigt. Zugriff (25.8.2016): http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2016/160630_2030SR.html.

BNetzA (2016c): Pressemitteilung. Bundesnetzagentur gibt endgültige Vectoring-Entscheidung bekannt. Bundesnetzagentur (BNetzA), Bonn.

Bollinger, L. A., Bogmans, C. W. J., Chappin, E. J. L., Dijkema, G. P. J., Huibregtse, J. N., Maas, N., Schenk, T., Snelder, M., van Thienen, P., de Wit, S., Wols, B. & Tavasszy, L. A. (2014): Climate adaptation of interconnected infrastructures: a framework for supporting governance. In: Regional Environmental Change. 14, 3, p. 919–931 13 p. (2014).

Bolton; R., T.J. Foxon (2014): Infrastructure transformation as a socio-technical process — Implications for the governance of energy distribution networks in the UK. In: Technol. Forecast. Soc. Change (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2014.2.017>.

Borderstep Institut (2014): Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation Im Auftrag des BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V..

Bruneau, M., et al., (2003): A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. Earthquake Spectra, 19 (4), 733–752.

Buldyrev, S., Parshani, R., Paul, G., Stanley, H.E., Havlin, S. (2010): Catastrophic cascade of failures in interdependent networks, NATURE Vol. 464, 2010.

BUND (2016): Stellungnahme des BUND Bundesverbandes zum Bundesverkehrswegeplan 2030 mit unmittelbarem Bezug zu einem oder mehreren Einzelprojekten. Zugriff (26.08.2016): http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/pdfs/mobilitaet/160502_bund_mobilitaet_bvwp_2030_stellungnahme.pdf.

Bundesfinanzministerium (BMF) (2016): [http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Monatsberichte/2016/07/Inhalte/Kapitel-6-Statistiken/6-1-14-entwicklung-der-finanzierungssalden.html;jsessionid=96C1F50D50E8AADE6012ADC10B8952D0;abgerufen 6.3.2017](http://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Monatsberichte/2016/07/Inhalte/Kapitel-6-Statistiken/6-1-14-entwicklung-der-finanzierungssalden.html;jsessionid=96C1F50D50E8AADE6012ADC10B8952D0;abgerufen%20am%206.3.2017).

Bundesministerium des Innern (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). Zugriff (25.08.2016): https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/2009/kritis.pdf?__blob=publicationFile.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung (MKS). Energie auf neuen Wegen. Zugriff (26.08.2016): https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/UI-MKS/mks-strategie-final.pdf?__blob=publicationFile.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Digitale Agenda 2014–2017. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/digitale-agenda-2014-2017,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>. aufgerufen am 31.10.2016.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie; Fraunhofer IZM und Borderstep-Institut, Berlin November 2016/2015. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht>. aufgerufen am 16.11.2016.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2009): Breitbandstrategie der Bundesregierung. <http://www.bmwi.de/Dateien/BBA/PDF/breitbandstrategie-der-bundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>. aufgerufen am 31.10.2016.

Bosseler, Bert et al. (2014): Kanalabdichtungen – Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlagen und der Einfluss auf den örtlichen Wasserhaushalt. Gelsenkirchen (Im Auftrag des UBA).

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2013b): Monitoringbericht 2013. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2013/131217_Monitoringbericht2013.pdf?__blob=publicationFile&v=15. aufgerufen am 16.11.2015.

Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5. aufgerufen am 14.11.2016.

Bundesregierung (2013): Koalitionsvertrag. Deutschlands Zukunft gestalten Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 18. Legislaturperiode.

Bundesregierung (2014): Digitale Agenda 2014–2017. Herausgeber Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium des Innern, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.

Bundesverband Deutscher Rechenzentren (2012): Pressemitteilung des Bundesverbands Deutscher Rechenzentren: Statistik über die Verteilung von Rechenzentren in Deutschland. Zugriff (1.2.2017): <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/german-cloud-initiative-bundesverband-deutscher-rechenzentren/Statistik-ueber-die-Verteilung-von-Rechenzentren-in-Deutschland/boxid/530630>

BVL (2013): Engpässe bei Infrastrukturprojekten. Zugriff (26.08.2016): www.bvl.de/files/441/927/985/2013-10-09_Infrastruktur_Engpaesse.pdf.

BVU/Intraplan/IVV GmbH & Co. KG/Planco Consulting 2014: Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht. Zugriff (26.08.2016): http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/verkehrsverflechtungsprognose-2030-schlussbericht-los-3.pdf?__blob=publicationFile.

Canzler, W., & Knie, A. (2013). *Schlaue Netze: wie die Energie- und Verkehrswende gelingt*. München: oekom verlag.

Carpenter, S.R. et al. (2012): General Resilience to Cope with Extreme Events. In: Sustainability 2012, 4, 3248–3259

CCS (2015): Urban Resilience: considering technical and social infrastructures in complex human environments. SKI Focus Rreport 10. Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich.

CEDIM (2013): CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA). June 2013 flood in Central Europe – Focus Germany https://www.cedim.de/download/FDA_Juni_Hochwasser_Bericht2.pdf.

Comes, T. und Van de Walle, B. (2014): Measuring Disaster Resilience: The Impact of Hurricane Sandy on Critical Infrastructure Systems; <http://www.iscramlive.org/ISCRAM2014/papers/p18.pdf>.

Daehre et al. (2012): Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung. Zugriff (26.8.2016): http://www.vifg.de/_downloads/service/Bericht-Daehre-Zukunft-VIF-Dez-2012.pdf.

Dahm, Rubens et al. (2014): Flood resilience a must for delta cities. In: Nature 516, 329.

- Dalelane, C. und Deutschländer, T. (2012): Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit. Abschlussbericht, Offenbach am Main.
- Datacentermap (2017): Data Center Map ApS, Denmark. Zugriff (1.2.2017): <http://www.datacentermap.com/germany/>.
- De Vries, Pierre (2010): The Resilience Principles: A Framework for New ICT Governance. Journal on Telecommunications and High Technology Law, vol. 9, no. 1, pp. 137–186, 2010–2011.
- Deist, Proeger, Bizer. (2016): Der Markt für Breitbandinternet in Deutschland und Politikempfehlungen zu seiner Förderung. Sofia-Studien zur Institutionenanalyse, Darmstadt. Göttingen. ISBN 978-3-941627-47-5.
- Deutsch, Volker, Klaus J. Beckmann, Carsten Gertz, Jürgen Gies, Christian Holz-Rau und Felix Huber (2016): Integration von Stadtplanung und ÖPNV für lebenswerte Städte. Belange des ÖPNV müssen in die strategische Stadt- und Verkehrsplanung einfließen, Berlin (Difu-Papers).
- Deutsche Telekom et al. (2009): Zukunft und Zukunftsfähigkeit der Informations- und Kommunikationstechnologien und Medien. Internationale Delphi-Studie 2030. Nationaler IT-Gipfel, Stuttgart.
- Deutscher Bundestag (1980): Bericht der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“. BT. Drs. 8/4341 vom 27.6.80
- Dierkes, M, U. Hoffmann und L. Marz (1992): Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen, Berlin.
- Difu - Deutsches Institut für Urbanistik (Hrsg.), Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förd.) (2015): Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Ergebnisse aus den INIS-Projekten, Berlin.
- Dolata, Ulrich (2011): Wandel durch Technik. Eine Theorie soziotechnischer Transformation, Frankfurt/Main und New York (Schriften aus dem Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Bd. 73).
- Downer, John (2009): When failure is an Option. Redundancy, reliability and regulation in complex technical systems. LSE, centre for analysis of risk and regulation. Discussion paper No. 53
- Dudenhofer, D. D., Permann, M. R., & Manic, M. (2006): CIMS: A framework for infrastructure interdependency modeling and analysis. In Proceedings of the 38th conference on Winter simulation (pp. 478-485). Winter Simulation Conference.
- Edwards, P.N.; S. J. Jackson; G.C. Bowker; C.P. Knobel (2007): Understanding Infrastructure: Dynamics, Tensions, and Design. Report of a Workshop on “History & Theory of Infrastructure: Lessons for New Scientific Cyberinfrastructures”. http://cohesion.rice.edu/Conferences/Hewlett/emplibary/UI_Final_Report.pdf (2.5.14).
- EEA (2015): Die Umwelt in Europa. Zustand und Ausblick 2015. Synthesebericht und EEA (2015): The European Environment. State and Outlook 2015 Assessment of global Megatrends. 2015
- Eine Untersuchung der natürlichen, künstlichen und virtuellen Wasserflüsse in Deutschland. Korrespondenz Wasserwirtschaft 2015 (8) Nr. 11. Zugriff (1.2.2017): https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2016/Hirschfeld_2015_Wasserfl%C3%BCsse_in_Deutschland.pdf.
- EnBW (2016): EnBW Stellungnahme zur Konsultation des Netzentwicklungsplans Gas 2016 nach § 15a EnWG. Zugriff (25.8.2016): <http://www.fnb-gas.de/de/netzentwicklungsplan/nep-2016/nep-2016.html>.
- Energy Union Choices (2016): A Perspective on Infrastructure and Energy Security In the Transition. Zugriff (25.8.2016): https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Energy_Union_Choices_Gas/EUC_Full_Technical_Report_Embargoed_10.00_CET_3_March_1__2_.pdf.
- EU Parlament (2010): Digitale Agenda für Europa. Kurzdarstellungen über die Europäische Union – 2016. Mariusz Maciejewski und Boris Marschall.
- Europäische Kommission (2013): ARBEITSUNTERLAGE DER KOMMISSIONSDIENSTSTELLEN - Leitfaden zur Anwendung der Vorschriften der Europäischen Union über staatliche Beihilfen, öffentliche Aufträge und den Binnenmarkt auf Dienstleistungen von allgemeinem wirtschaftlichem Interesse und insbesondere auf Sozialdienstleistungen von allgemeinem Interesse, Brüssel, den 29.4.2013, SWD(2013) 53 final/2.
- EUWID Wasser (Text-Nr.: 002 Ausgabe: WA46/2015 Ersch.-Dat.: 10.11.2015).

- FAZ (2007): Atrikel in der FAZ. Zugriff (1.2.2017): <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/umwelt-technik/kabeltechnologie-fuer-fuenf-wochen-war-es-still-im-world-wide-web-1489678.htm>.
- FAZ (2013): Artikel in der FAZ. Zugriff (1.2.2017): <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/oesterreich-hochwasser-legt-donau-kraftwerke-lahm-12208617.html>
- FAZ (2016): Ultraschnelles Internet:Alexander Dobrindt will flächendeckendes 5G Netz bis 2025. Henrike Rossbach. <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/netzwirtschaft/ultraschnelles-internet-alexander-dobrindt-will-flaechendeckendes-5g-netz-14454239.html>
- Fekete, A., Grinda, C., Norf, C. (2016): Resilienz in der Risiko- und Katastrophenforschung: Perspektiven für disziplinenübergreifende Arbeitsfelder. In: Wink, R. (Hrsg.): Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung. Studien zu Resilienzforschung. Springer.
- Fekkak, Miriam, Mark Fleischhauer, Stefan Greiving, Rainer Lucas, Jennifer Schinkel und Uta von Winterfeld (2016): „Resiliente Stadt – Zukunftsstadt“, Wuppertal .
- Fichter, Hintermann, Stecher (2010): Leitakteure: Richtungsgebende Schlüsselakteure. In: Fichter, K., von Gleich, A., Pfriem, R. und Siebenhüner, B. (Hrsg.): Theoretische Grundlagen für erfolgreiche Klimaanpassungsstrategien, Bremen und Oldenburg (nordwest2050 Berichte), S. 154–162.
- Fisher, Len (2015): More than 70 ways to show resilience. Nature Correspondence. In: Nature 5 FEBRUARY 2015 | VOL 518.
- FNB Gas (2016a): Entwurf Netzentwicklungsplan Gas 2016. Zugriff (25.08.2016): http://www.fnb-gas.de/files/2016_04_01-entwurf_nep-gas-2016.pdf.
- FNB Gas (2016b): Anlage Netzentwicklungsplan Gas 2016. Maßnahmen-Steckbriefe. Zugriff (25.8.2016): http://www.fnb-gas.de/files/2016_04_01-anlage_nep-gas-2016-massnahmensteckbriefe.pdf.
- FNB Gas (2017): Zahlen und Fakten zum Gasleitungsnetz. Zugriff (24.3.2017): <http://www.fnb-gas.de/de/fernleitungsnetze/zahlen-und-fakten/zahlen-und-fakten.html>.
- FNB Gas/ Prognos AG (2015): Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan Gas 2016 der Fernleitungsnetzbetreiber. Zugriff (25.8.2016): http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Gas/NEP_2016/Szenariorahmen/SzenariorahmenNEPGas2016.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- FNB-Gas. (2016). Entwurf Netzentwicklungsplan Gas 2016–2026. 2. Entwurf. Berlin: Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) Gas.
- FORTRESS (2014a): Crisis case studies of cascading and/or cross-border disasters. FORTRESS Projekt 2014.
- FORTRESS (2014b): Foresight Tools for Responding to cascading effects in a crisis. THE INTERNATIONAL EMERGENCY MANAGEMENT SOCIETY Newsletter -ISSUE 21–August 2014.
- Forzieri et al. (2015): Resilience of large investments and critical infrastructures in Europe to climate change. EUR 27598 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union.
- Fouquet, Roger; Peter J.G. Pearson (2012): Past and prospective energy transitions: insights from history. Editorial. In: Energy Policy 50 (2012), S. 1–7.
- France24 (2015): Artikel von France24. Zugriff (1.2.2017): <http://www.france24.com/en/20150701-france-paris-heat-wave-alert-deadly-2003-summer-guidelines>.
- Fraunhofer ISI (2013): Szenarien für die Gigabit-Gesellschaft – Wie die Digitalisierung die Zukunft verändert. Dr. Bernd Beckert, Competence Center Neue Technologien, Karlsruhe.
- Frey, René L. (2005): Infrastruktur, in: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Handwörterbuch der Raumordnung, Hannover, S. 469–475.
- Fürst, F. U. Himmelbach und P. Potz (1999): Leitbilder der räumlichen Stadtentwicklung im 20. Jahrhundert – Wege zur Nachhaltigkeit? Dortmund (Berichte aus dem Institut für Raumplanung 41).
- Gailing, Ludger, Frank Huesker, Kristine Kern und Andreas Röhring (2013): Die räumliche Gestaltung der Energiewende zwischen Zentralität und Dezentralität. Explorative Anwendung einer Forschungsheuristik, Erkner.

- Gartner (2014): Press Release; Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2015.
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2867917>. aufgerufen am 16.11.2016.
- Garud, Raghu und Peter Karnoe (2001): Path Creation as a Process of Mindful Deviation, in: Garud, Raghu und Peter Karnoe (Hrsg.): Path dependence and creation, Mahwah, S. 1–38.
- Gayken, S. (2016): Interview des Deutschlandradio mit IT-Expert Sandro Gaycken: http://ondemand-mp3.dradio.de/file/dradio/2016/06/13/mobilfunknetz_ausfall_bei_der_telekom_interview_mit_sandro_dlf_20160613_1645_f172d2b3.mp3.
- Geels, F.W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study. In: Res. Policy 31 (8/9). S. 1257–1274
- Gerhardt, N., Sandau, F., Scholz, A., Hahn, H., Schumacher, P., Sager, C., Müller, T. (2015). Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr. Endbericht. Kassel: Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP).
- Giesel, K.D. (2007): Leitbilder in den Sozialwissenschaften – Begriffe, Theorien und Forschungskonzepte, Wiesbaden.
- Glasauer, Herbert und Konstanze Arndt (1994): Die Entwicklung der Trinkwasserversorgung – dargestellt am Beispiel der Stadt Frankfurt am Main, Kassel (Reihe WasserKultur Texte der Arbeitsgruppe empirische Planungsforschung).
- Gleich, Armin von, (2013): Umgang mit Unsicherheit. Gestaltung resilienter sozio-technischer Systeme. Präsentation im Rahmen der Kompass-Tagung „Klimarobustes und Nachhaltiges Deutschland – Wie gestalten wir die Transformation?“ 15. und 16. Oktober 2013 Download: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/656/dokumente/prof._dr._von_gleich.pdf
- Gleich, Armin von, Gößling-Reisemann, S., Stührmann, S., Woizeschke, P., Lutz-Kunisch, B. (2010b): Resilienz als Leitkonzept – Vulnerabilität als analytische Kategorie. In: Fichter, K., v. Gleich, A., Pfriem, R., Siebenhüner, B. (Hrsg.): Theoretische Grundlagen für Klimaanpassungsstrategien. Bremen, Oldenburg (nordwest2050-Bericht, 1/2010), S. 13–45.
- Gleich, Armin von, Urte Brand, Sönke Stührmann, Stefan Gößling-Reisemann und Birgit Lutz-Kunisch (2010a): Leitorientierte Technologie und Systemgestaltung. In: Fichter, K., von Gleich, A., Pfriem, R. und Siebenhüner, B. (Hrsg.): Theoretische Grundlagen für erfolgreiche Klimaanpassungsstrategien, Bremen und Oldenburg (nordwest2050 Berichte), S. 130–140.
- Gleich, Armin von; Brand, Urte; Stührmann, Sönke; Gößling-Reisemann, Stefan; Lutz-Kunisch, Birgitt (2010): Leitorientierte Technologie- und Systemgestaltung. In: Klaus Fichter, Armin von Gleich, Reinhard Pfriem und Bernd Siebenhüner (Hrsg.): Theoretische Grundlagen für erfolgreiche Klimaanpassungsstrategien. Bremen, Oldenburg (nordwest2050–Bericht, 1/2010), S. 130–139.
- Gößling-Reisemann, S.; Stührmann, S.; Wachsmuth, J.; Gleich, von Armin.; Gößling-Reisemann, S. (2013): Vulnerabilität und Resilienz von Energiesystemen. In: J. Radtke und B. Henning (Hrsg.): Die deutsche "Energiewende" nach Fukushima. Der wissenschaftliche Diskurs zwischen Atomausstieg und Wachstumsdebatte. Weimar (Lahn): Metropolis (Beiträge zur sozialwissenschaftlichen Nachhaltigkeitsforschung, 8), S. 367–396.
- Groß, Matthias (2014): Experimentelles Nichtwissen: Umweltinnovationen und die Grenzen sozial-ökologischer Resilienz, Bielefeld.
- Haller, M., Repenning, J., Vogel, M., Schlomann, B., Reuter, M., Jochem, E., Toro, F., u.a. (2016). Überblick über vorliegende Szenarienarbeiten für den Klimaschutz in Deutschland bis 2050. Berlin: Öko-Institut, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES).
- Haraguchi, M. und Kim, S. (2016): Critical infrastructure interdependence in New York City during Hurricane Sandy, International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, Vol. 7 issue: 2, p. 134.
- Hasenöhl, Ute (2015): Die Stadt im Licht: Städtische Beleuchtung als Infrastruktur, in: Schott, Dieter (Hrsg.): Stadt und Infrastruktur, Berlin, S. 30–41 (Reihe Informationen zur modernen Stadtgeschichte, Band 1 (2015)).
- Hellige, Hans Dieter (2012): Transformationen und Transformationsblockaden im deutschen Energiesystem. Eine strukturgenetische Betrachtung der aktuellen Energiewende. Artec-paper Nr 185.
- Hellige, Hans Dieter (Hrsg.) (1996): Technikleitbilder auf dem Prüfstand – Leitbild-Assessment aus Sicht der Informatik – und Computergeschichte. Berlin: Edition Sigma.

- Hennicke, Peter, Jeffrey P. Johnson, Stephan Kohler und Dieter Seifried (1985): Die Energiewende ist möglich. Für eine neue Energiepolitik der Kommunen, Frankfurt/Main.
- Hesse, Markus (1993): Verkehrswende. Ökologisch-ökonomische Perspektiven für Stadt und Region, Marburg.
- Hiessl, Harald, Dominik Toussaint, Michael Becker, Amely Dyrbusch, Silke Geisler, Heinrich Herbst, Jens Prager (Hrsg.): Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Karlsruhe) (2002): AKWA 2100. Alternativen der kommunalen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Karlsruhe.
- Hintemann, R., & Clausen, J. (2014). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Im Auftrag des BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft. Berlin: Borderstep Institut.
- Hirschfeld (2015): Wo ist Wasser in Deutschland knapp und könnte es in Zukunft knapper werden?
- Höhne, Stefan (2015): Maschinen-Barbaren. Städtischer Nahverkehr und die Zivilisierung der Großstadt, in: Schott, Dieter (Hrsg.): Stadt und Infrastruktur, Berlin, S. 42–56 (Reihe Informationen zur modernen Stadtgeschichte, Band 1 (2015).
- Horst, J., Dotzauer, M., Cebulla, F., Bofinger, S., Tarfarte, P., & Teufel, A. (2016). Mittelfristiger Bedarf an Flexibilitätsoptionen. FVEE Jahrestagung. Berlin: FVEE (ForschungsVerbund Erneuerbare Energien).
- Howe, C., Vairavamoorthy, K., & van der Steen, N. (2012). Sustainable Water Management - in the City of the Future. Niederlande: UNESCO - IHE.
- Hughes, Thomas P. (1987): The Evolution of Large Technological Systems, in: Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes, Trevor Pinch (Hrsg.): The Social Construction of Technological Systems – New Directions in the Social Construction of Technological Systems – New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge, Massachusetts, S. 51–82.
- IKT NRW (2016): Problemfall regionale Breitband-Netze. Artikel des Cluster Informations- und Kommunikationstechnologie des Landes Nordrhein-Westfalen. Zugriff (29.9.2016): <http://ikt.nrw.de/news/einzelmeldung/article/problemfall-regionale-breitband-netze/>
- Immobilienmanager (2016): Frankfurt ist Top-Standort für Rechenzentren in Europa. Immobilien Manager Verlag IMV GmbH & Co. KG. Zugriff (1.2.2017): <http://www.immobiliengmanager.de/frankfurt-ist-wichtigster-standorte-fuer-rechenzentren-in-europa/150/46217/>.
- Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge Rheinland-Pfalz (2016): Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge, Mainz. Zugriff (01.02.2017): <http://www.ibh.rlp.de/servlet/is/391/>.
- InfraRisk (2017): Novel Indicators for identifying critical INFRAstructure at RISK from natural hazards – INFRARISK. Collaborative project FP7. Zugriff (1.2.2017): <https://www.infrarisk-fp7.eu/>.
- Jasanoff, Sang-Hyun Kim (Hrsg.) (2015): Dreamscapes of Modernity: Sociotechnical Imaginaries and the Fabrication of Power. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Jochimsen, Reimut (1966): Theorie der Infrastruktur. Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung, Tübingen.
- Kaijser, Arne (2001): Redirecting Infrsystems towards Sustainability. What Can We Learn from History?, Stockholm (www.infra.kth.se/courses/1H5129/SA_11_Kaijser.pdf, abgerufen am 6.4.2009).
- Kamalahmadi, M., Parast, M. M. (2015): A review of the literature on the principles of enterprise and Supply chain resilience: Major findings and directions for future research. In: International Journal of Production Economics Volume 171, Part 1, January 2016, Pages 116–133.
- KBA (2017): Webseite des Kraftfahrtbundesamt (KBA). Statistische Datenbank. Zugriff (26.8.2016): http://www.kba.de/DE/Statistik/statistik_node.html.
- Kemfert et al. (2016): Politikberatung kompakt Stromnetze und Speichertechnologien für die Energiewende – Eine Analyse mit Bezug zur Diskussion des EEG 2016. Zugriff (25.8.2016): https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.536892.de/diwkompakt_2016-112.pdf.
- KfW Bankengruppe (Hrsg.) (2016): KfW-Kommunalpanel 2016, Frankfurt am Main. (download: <https://difu.de/publikationen/2016/kfw-kommunalpanel-2016.html>; abgerufen: 6.3.2017)

- Kluge Thomas und Jens Libbe (Hrsg.) (2006): Transformation netzgebundener Infrastruktur: Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser, Berlin (Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Bd. 45).
- Kluge, Thomas und Engelbert Schramm (2010): Geschichtlicher Exkurs zur Genese der bestehenden Systeme
- Kluge, Thomas und Jens Libbe (Hrsg.) (2010): Transformationsmanagement für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Handreichung zur Realisierung neuartiger Infrastrukturlösungen im Bereich Wasser und Abwasser, Berlin (Difu-Sonderveröffentlichung).
- KRITIS (2015): Aqua-IT-Lab. Zugriff (28.8.2016): <http://www.vdivde-it.de/KIS/sichere-ikt/kritische-infrastrukturen-kritis/aqua-it-lab>.
- Kuckartz, Udo; Anke, Rheingans-Heintze (2006): Trends im Umweltbewusstsein. Wiesbaden. VS Verlag.
- Kuder, Thomas (2001): Städtebauliche Leitbilder – Begriff, Inhalt, Funktion und Entwicklung, gezeigt am Beispiel der Funktionstrennung und –mischung, Berlin 2001(http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/y/2003/tu-berlin/kuder_thomas.pdf).
- Laak, Dirk van (2008): Infrastrukturen und Macht. In: François Duceppe-Lamarre/Jens Ivo Engels (Hrsg.): Umwelt und Herrschaft in der Geschichte/Environnement et pouvoir: une approche historique, München (Oldenbourg), S. 106–114.
- Labaka, Hernantes, Sarriegi (2016): A holistic framework for building critical infrastructure resilience. In: Technological DForecasting & Social Change 103 (2016) 21–33.
- Land Brandenburg (Hrsg.) (2015): Abschlussbericht „Leitbild zukunftsfähige Siedlungswasserwirtschaft Brandenburg“, Potsdam.
- Laugé, Hernantes und Sarriegi (2014): Critical infrastructure dependencies: A holistic, dynamic and quantitative approach.
- Leitinger, C., Schuster, A., Litzlbauer, M., Brauner, G., Simic, D., Hiller, G., Sammer, G. (2010). Smart Electric Mobility – Speichereinsatz für elektrische Mobilität und Netzstabilität. Endbericht. Wien: Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG).
- Lenger, Friedrich (2013): Metropolen der Moderne. Eine europäische Stadtgeschichte seit 1850, München.
- Lente, Harro van/Arie Rip (1998a): Expectations in Technological Developments: An Example of Prospective Structures to be Filled in by Agency, in: Cornelis Disco/Barend J. R. van der Meulen (Hrsg.), Getting New Technologies Together. Studies in Making Socio-technical Order, Berlin u.a.: de Gruyter, S. 203–229.
- Lenz, S. (2009): Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen. Forschung im Bevölkerungsschutz. Band 4.
- Leuscher, Udo (2004): Energie Chronik: Die Ursache des Stromausfalls lag in der Schweiz.
- Leyens, D; Engelhard, P. Reck, H. (2012): Klimaanpassung in der Energiewirtschaft. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 9/2012, S. 50 f.
- Libbe, Jens (2007): Infrastruktur und Nachhaltigkeit – Politische Herausforderungen am Beispiel der städtischen Wasserver- und Abwasserentsorgung. In: Revue d'Allemagne et des Pays de langue allemande No. 39 (2007) 3 (Umwelt und Nachhaltigkeit in Frankreich und Deutschland), Straßburg, S. 407–418.
- Libbe, Jens (2014): Smart City: Herausforderung für die Stadtentwicklung. in: Difu-Berichte 2/2014, S. 2–3.
- Libbe, Jens (2015a): Transformation städtischer Infrastruktur. Perspektiven und Elemente eines kommunalen Transformationsmanagements am Beispiel Energie, Leipzig (http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/17484/Diss_libbe_final_M%C3%A4rz2014_Verleihungsbeschluss.pdf).
- Libbe, Jens (2015b): Arenen und Akteure des Infrastrukturdiskurses. Politikpapier im Rahmen des Projekts „Notwendigkeiten und Möglichkeiten zur klimaresilienten und zukunftsfähigen Ausgestaltung von nationalen und grenzübergreifenden Infrastrukturen“, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin (unveröffentlicht).
- Libbe, Jens (2016a): Diskussion um zukunftsfähige Infrastrukturen und Ansatzpunkte für die weitere Vernetzung. Internes Politikpapier im Rahmen des KLARIS-Vorhabens, Berlin (unveröffentlicht).
- Libbe, Jens (2016b): Kommunale Daseinsvorsorge zeitgemäß begründen. Wasserversorgung und Abwasserentsorgung gilt als Kernbestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge. In: Transforming Cities. Urbane Systeme im Wandel. Das technisch-wissenschaftliche Fachmagazin (2016) 2, S. 22–27.
- Libbe, Jens und Darla Nickel (2016): Wasser in der Stadt der Zukunft – planerische Herausforderungen und politische Aufgaben, in: disp The Planning Review 206 52. Jg. (2016) Heft 3, Zürich S. 110–115 (<http://www.tandfonline.com/eprint/mSfMm4dUcuRZyapvT6tn/full>).

- Libbe, Jens und Stefanie Hanke (2011): Rekommunalisierung – neue alte Wege der öffentlichen Daseinsvorsorge, in: Der Gemeindehaushalt, H. 5 (2011), S. 108–113.
- Libbe, Jens und Ulrich Petschow (2014): Aufbereitung und Zusammenführung des vorhandenen Wissens zu Infrastrukturen. Sondierungsstudie im Rahmen des Projekts „Vernetzung von Anpassungswissen und -akteuren, politikrelevante Synthese und zielgruppenorientierte Öffentlichkeitsarbeit“, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin (unveröffentlicht).
- Libbe, Jens und Ulrich Petschow (2015): Infrastrukturen und grüne Transformation. Skizzierung eines kommenden Forschungsfeldes, in: Ökologisches Wirtschaften Jg. 30 (2015), Nr. 1, S. 34–38.
- Libbe, Jens; Köhler, Hadia; Beckmann, Klaus J. (2010): Infrastruktur und Stadtentwicklung. Technische und soziale Infrastrukturen – Herausforderungen und Handlungsoptionen für Infrastruktur- und Stadtplanung, Berlin.
- Libbe, Jens; Petschow, Ulrich (2016): Analyse der bisherigen Entwicklung von Infrastrukturen. Bericht im Rahmen des Projekts „Notwendigkeiten und Möglichkeiten zur klimaresilienten und zukunftsfähigen Ausgestaltung von nationalen und grenzübergreifenden Infrastrukturen“, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, (unter Mitarbeit von Wulf Holger Arndt und Holger Floeting), Berlin (unveröffentlicht).
- Lockwood, Matthew; Caoline Kuzemko, Catherine Mitchell; Richard Hoggett (2013): Theorising governance and innovation in sustainable energy transitions. EPG Working Paper 1304. July 2013.
- Loske, R.; R. Schaeffer (2005) Infrastrukturpolitik als ordnungspolitische Gestaltungsaufgabe. In: Loske, R.; R. Schaeffer (Hg.) Die Zukunft der Infrastrukturen. Intelligente Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung. Metropolis Marburg.
- Loske, Reinhard; Schaeffer, Roland (2005) (Hg.): Die Zukunft der Infrastrukturen. Intelligente Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung. Metropolis
- Lovins, A. B.; Lovins L. H. (1982): Brittle power: Energy strategy for national security. Brick house Publishing Company, Andover.
- Martin-Breen, P., Anderies, J. M. (2011): Resilience: A Literature Review. IDS. Zugriff (22.7.2016): opendocs.ids.ac.uk.
- Mayntz, Renate (1988): Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme, in: Mayntz, Renate, Bernd Rosewitz, Uwe Schimank und Rudolf Stichweh (Hrsg.): Differenzierung und Verselbständigung: zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme, Frankfurt/Main, S. 233–259.
- Mayntz, Renate (1995): Die Entwicklung technischer Infrastruktursysteme zwischen Steuerung und Selbstorganisation, in: Mayntz, Renate und Fritz Wilhelm Scharpf (Hrsg.): Gesellschaftliche Selbstregulierung und politische Steuerung, Frankfurt/Main (Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung Köln, Bd. 23), S. 73–100.
- Mazzucato, Mariana (2014): Das Kapital des Staates. Eine andere Geschichte von Innovation und Wachstum, München.
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C.D., Zacharia, Z.G. (2001): Defining Supply Chain Management. Journal of Business Logistics, Vol.22, No. 2, 2001.
- Meyerhoff, J.; Petschow, U. (1995): Nachhaltige Entwicklung als langfristiger Entwicklungsprozess: Konsequenzen für die Wirtschafts- und Umweltpolitik. In: Gerken, Lüder (Hg.) Ordnungspolitische Grundfragen einer Politik der Nachhaltigkeit.
- Mitnetz-Strom (2013): Zahlreiche Stromausfälle im Netzgebiet der MITNETZ STROM nach Hochwasser. Pressemitteilung der Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH, Halle (Saale). Zugriff (1.2.2017): https://www.mitnetz-strom.de/Presse/Pressemitteilungen/ArchivSuche/2013?unt_item_rid=10b578d7-6aae-3010-cba3-fe9b4bd6d85f.xml.
- Monstadt, Jochen (2007): Großtechnische Systeme der Infrastrukturversorgung: Übergreifende Merkmale und räumlicher Wandel. In: Gust, D. (Hrsg.): Wandel der Stromversorgung und räumliche Politik. Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Bd. 227, Hannover, S. 7–34.
- Monstadt, Jochen und Matthias Naumann (2004): Neue Räume technischer Infrastruktursysteme. Forschungsstand und -perspektiven zu räumlichen Aspekten des Wandels der Strom- und Wasserversorgung in Deutschland, Berlin (netWORKS-Papers, Nr. 10).
- MOOG O. (2009): Nährstoffbilanzen aquatischer Lebensgemeinschaften, Foliensammlung zur Vorlesung Ökologie (831.330), SS 2009, Universität für Bodenkultur Wien.

- Moss, Timothy, Ludger Gailing, Kristine Kern, Matthias Naumann und Andreas Röhring (2013): Energie als Gemeinschaftsgut? Anregungen für die raumwissenschaftliche Energieforschung, Erkner (IRS-Working Paper Nr. 50).
- Moss, Timothy, Rita Gundermann und Andreas Röhring (2009): Zur Renaissance der Gemeinschaftsgut und Gemeinwohlforschung, in: Bernhardt, Christoph, Heiderose Kilper und Timothy Moss (Hrsg.) (2009): Im Interesse des Gemeinwohls. Regionale Gemeinschaftsgüter in Geschichte, Politik und Planung, Frankfurt/Main und New York.
- Musgrave, Richard A. (1959): The Theory of Public Finance, New York.
- Nachrichten, K. (11. November 2016). Kieler Nachrichten - Das Portal der KN und Segeberger Zeitung. Von <http://www.kn-online.de/News/Aktuelle-Wirtschaftsnachrichten/Nachrichten-Wirtschaft/Brunsbuettel-Weichen-fuer-LNG-Importterminal-gestellt> abgerufen
- Nawam-Inis (2016): Nachhaltiges Wassermanagement - Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (Nawam – Inis). Ein Projekt des difu (Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH). Gefördert vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung. Zugriff (1.2.2017): <https://nawam-inis.de/>.
- Netropolitik.org (2016): Breitbandausbau: Bald mehr Digitale Strategien als Anschlüsse. Thomas Rudl. Zugriff (29.9.2016): <https://netropolitik.org/2016/breitbandausbau-bald-mehr-digitale-strategien-als-anschluesse/>.
- New Climate. (2016). Presseerklärung: Pariser Abkommen verpflichtet Deutschland zu schnellerer Energiewende. New Climate Institut. Von <https://newclimate.org/2016/02/23/presseerklarung-pariser-abkommen-verpflichtet-deutschland-zu-schnellerer-energiewende/> abgerufen.
- New York State Energy Research and Development Authority (2011): Responding to Climate Change in New York State: The ClimAID Integrated Assessment for Effective Climate Change Adaptation in New York State. Chapter 10.
- Nijkamp, Peter (1986): Infrastructure and Regional Development: A Multidimensional Policy Analysis. Empec, Vol. 11 (1986), S. 121.
- Nitsch, J. (2016). Die Energiewende nach COP21 - Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung. Kurzstudie für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V. Stuttgart.
- Nitsch, J., Pregger, T., Naegler, T., Heide, D., Luca de Tena, D., Trieb, F., Wenzel, B. (2012). Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. Stuttgart, Kassel, Teltow: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE).
- Nitsch, Joachim (2016): Die Energiewende nach COP21 - Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung).
- NRC – National Research Council (1995): Measuring and Improving Infrastructure Performance, Washington D.C. (National Academy Press).
- n-tv (2013): Artikel n-tv. Zugriff (1.2.2017): <http://www.n-tv.de/wirtschaft/Hochwasser-erfasst-die-Bahn-article10794316.html>.
- OECD. (2014). Umweltausblick bis 2050. Konsequenzen des Nichthandelns. . Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Osterhammel, Jürgen (2009): Die Verwandlung der Welt. Eine Geschichte des 19. Jahrhunderts. C.H. Beck.
- Pahl-Woestl, C, P. Kabat und J. Möltgen (Hrsg.) (2008): Adaptive and Integrated Water Management. Coping with Complexity and Uncertainty. Berlin, Heidelberg, New York.
- Palgrave, M.; Schmidt, V. A. (2010): Speaking of change: Why discourse is key to the Dynamics of policy transformation.
- Perrow, C. (1988): Normale Katastrophen. Die unvermeidlichen Risiken der Großtechnik. Campus, Frankfurt/New York.
- Peter, Stefan (2013): Modellierung einer vollständig auf erneuerbaren Energien basierenden Stromerzeugung im Jahr 2050 in autarken, dezentralen Strukturen, Dessau-Roßlau. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/climate_change_14_2013_modellierung_einer_vollstaendig_auf_erneuerbaren_energien.pdf. aufgerufen am 31.10.2016.
- Petermann, T.; Bradke, H.; Lüllmann, A.; Poetsch, M.; Riehm, U. (2010): Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung. Berlin (Büro für Technikfolgen-Abschätzung

beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht 141). Download: <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab141.pdf>.

Pinch, Trevor J. und Wiebe E. Bijker (1987): The Social Construction of Facts and Artifacts: Or how the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other, in: Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes, Trevor Pinch (Hrsg.): The Social Construction of Technological Systems – New Directions in the Social Construction of Technological Systems – New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge, S. 17–50.

Ponis, S.T., Koronis, E. (2012): Supply Chain Resilience: Definition of Concept and Its Formative Elements. In: Journal of Applied Business Research. Volume 28, Number 5.

Poumadere et al.: The 2033 Heat wave in France: Dangerous Climate Change Here and Now; Risk Analysis, Vol. 25, No. 6, 2005.

PROGNOS (2014). Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose,

Prognos, EWI, GWS (2014): Endbericht Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose Projekt Nr. 57/12. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Prognos AG, Basel in Kooperation mit EWI - Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Köln und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS), Osnabrück.

PTV/ TCI Röhling/ Mann (2016): Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030. Entwurfsfassung. Zugriff (26.8.2016): http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2030-methodenhandbuch.pdf?__blob=publicationFile.

Quaschnig, V. (2016). Sektorkopplung durch die Energiewende. Anforderungen an den Ausbau erneuerbarer Energien zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele unter Berücksichtigung der Sektorkopplung. Berlin: htw - Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.

Radio Jade. (14.. Juni 2016). Wilhelmshaven: Bundestagsabgeordnete für LNG Terminal - Radio Jade. Von <http://www.radio-jade.de/nachrichten/2016/06/wilhelmshaven-bundestagsabgeordnete-fuer-lng-terminal/> abgerufen.

Reder (2016): Cloud Giganten Amazon Web Services viel Cloud für wenig Geld. Artikel in der computerwoche. <http://www.computerwoche.de/a/amazon-web-services-viel-cloud-fuer-wenig-geld,3223095>.

Repenning, J., et al. (2017): Rahmendaten für den Projektionsbericht 2017. nach Statistisches Bundesamt (StBA) (2009, 2015, 2016), Projektionsbericht (2013), EC (2014, 2016) Umweltbundesamt 2016; <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/bevoelkerung-demografischer-wandel/demografischer-wandel#textpart-2>, abgerufen: 6.3.201

Repenning, J., Hermann, H., Emele, L., Jörß, W., Blanck, R., Loreck, C., Ziesing, H.-J. (2015). Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin, Karlsruhe: Öko-Institut, Fraunhofer ISI.

Repenning, J.; Emele, L.; Blanck, R.; Böttcher, H.; Dehoust, G.; Förster, H.; Greiner, B.; Harthan, R.; Hennenberg, K.; Hermann, H.; Jörß, W.; Loreck, C.; Ludig, S.; Scheffler, M.; Schumacher, K.; Wiegmann, K.; Zell-Ziegler, C.; Braungardt, S.; Eichhammer, W.; Elsland, R.; Fleiter, T.; Hartwig, J.; Kockat, J.; Pfluger, B.; Schade, W.; Schlomann, B.; Sensfuß, F.; Ziesing, H.; Matthes, F. (2015): Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Dezember 2015; Berlin. <http://www.oeko.de/publikationen/download/2451/2015-608-de.pdf/>. aufgerufen am 31.10.2016.

Resiliens (2017): RESILENS: Realising European Resilience for Critical Infrastructure. Zugriff (01.02.2017): <http://resilens.eu/>.

Rinaldi, Steven, M.; Peerenboom, James, P.; Kelly, Terrence, K. (2001): Identifying, Understanding, and Analysing Critical Infrastructure Interdependencies. In: IEEE Control Systems Magazine (December 2001).

Rosbach, H. (2016). Ultraschnelles Internet: Alexander Dobrindt will flächendeckendes 5G Netz bis 2025. *Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ)*. Von <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/netzwirtschaft/ultraschnelles-internet-alexander-dobrindt-will-flaechendeckendes-5g-netz-14454239.html> abgerufen.

Roth-Badems (2008): Die Wasserbedarfsprognose als Grundlage für den Regionalen Wasserbedarfsnachweis der Hessenwasser GmbH & Co. KG. Zugriff (01.02.2017): http://dr-roth-badems.de/Dokumente/2007-2011/Wasserbedarfsprognose_2008.pdf.

- Sage, D., Zebrowski, C. (2016): Resilience and critical infrastructure. In: Dover, R., Goodman, M. (Hrsg.): International Security Handbook.
- Samuelson, Paul Anthony (1954): The Pure Theory of Public Expenditure, in: Review of Economics and Statistics, Vol. 36.
- schaeffer2012scenariosaspatternsoforientation.pdf (27.6.14).
- Scharp, M. (2011). Materialbestand und Materialflüsse der IuK-Infrastruktur: Mobilfunk. Meilensteinbericht des Arbeitspakets 2.3 des Projekts Materialeffizienz und Ressourcenschonung (MaRess). Wuppertal, Berlin: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung.
- Scheidemann, Dieter (1992): Der Begriff der Daseinsvorsorge. Ursprung, Funktion und Wandlungen der Konzeption Ernst Forsthoffs, Göttingen.
- Schlesinger, M., Lindenberger, D., & Lutz, C. (2014). Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Endbericht. Basel, Köln, Osnabrück: Prognos AG, EWI - Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS).
- Schott, Dieter (2006): Wege zur vernetzten Stadt – technische Infrastruktur in der Stadt aus historischer Perspektive, in: Informationen zur Raumentwicklung (IzR), H. 5: Zukunft städtischer Infrastruktur, S. 249-257.
- Schott, Dieter (2014): Europäische Urbanisierung (1000–2000). Eine umwelthistorische Einführung. Köln.
- Schrapp (2011): Materialbestand und Materialflüsse der IuK-Infrastrukturen: Mobilfunk. IZT–Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. Meilensteinbericht des Arbeitspakets 2.3 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess).
- Schulz-Schaeffer, I. (2012): Scenarios as Patterns of Orientation in Technology Development and Technology Assessment – Outline of a Research Program. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Schumacher, E.F. (1973): Small is beautiful. A Study of economics as if people mattered.
- Sharifi, A., Yamagata, Y. (2016): Principles and criteria for assessing urban energy resilience. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 60 (2016): S. 1654–1677.
- Sieferle, Rolf Peter (2010): Lehren aus der Vergangenheit. Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Materialien.
- Spiegel (2013): Artikel im Spiegel. Zugriff (1.2.2017): <http://www.spiegel.de/panorama/bahnstrecke-hannover-berlin-nach-hochwasser-wieder-freigegeben-a-931555.html>.
- Stadt Münster (2014): Bericht zum Unwetter am 28.07.2014. Zugriff (1.2.2017): https://www.stadt-muenster.de/sessionnet/sessionnetbi/vo0050.php?__kvonr=2004037925.
- Stadtwerke Münster (2014): Pressemitteilung zum Unwetter. Zugriff (24.3.2017): <https://www.stadtwerke-muenster.de/presse/pressemitteilungen/gesamt/nachricht/artikel/auswirkungen-des-unwetters-auf-energieversorgung-und-busverkehr-stand-1230-uhr.html>.
- Stapelberg, R.F. (2008): Infrastructure Systems Interdependencies and Risk Informed Decision Making (RIDM): Impact Scenario Analysis of Infrastructure Risks Induced by Natural, Technological and Intentional Hazards. In: Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol. 6, Nr. 5S.21–27.
- Statista (2017): Statistik zur Länge der Rohrleitungen im deutschen Gütertransport von 2006 bis 2015 (Rohöl- und Mineralölleitungen). Zugriff (24.3.2017): <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/419705/umfrage/laenge-der-rohrleitungen-im-deutschen-guetertransport/>.
- Statistisches Bundesamt (2017): https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/Zensus_Geschlecht_Staatsangehoerigkeit.html; Quelle: Ergebnisse der Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011)
- Statistisches Bundesamt. (2015). Bevölkerung Deutschlands bis 2060 Ergebnisse der 13. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.

Sterbenz, Hutchison, Cetinkaya, Jabbar, Rohrer, Schöller, Smith (2010): Resilience and survivability in communication networks: Strategies, principles, and survey of disciplines, Computer Networks, Vol. 54 No. 8, S. 1245–1265.

Submarinenetworks (2007): <http://submarinenetworks.com/news/cables-cut-after-taiwan-earthquake-2006>.

TAB (2010): Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen Ausfalls der Stromversorgung, November 2010; Kapitel 3.2: Folgenanalysen ausgewählter Sektoren Kritischer Infrastrukturen.

Tagesspiegel (2007): Artikel im Tagesspiegel. Zugriff (1.2.2017): <http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/internet-in-asien-durch-erdbeben-weiter-gestoert/792334>.

Tauchmann, Harald et. al. (2006): Innovationen für eine nachhaltige Wasserwirtschaft. Einflussfaktoren und Handlungsbedarf, Heidelberg.

Thoma, Klaus (Hg.) (2014): Resilen-Tech. Resilience-by-Design“: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen . acatech Studie April 2014.

Tietz, Hans-Peter (2007): Systeme der Ver- und Entsorgung. Funktionen und räumliche Strukturen, Wiesbaden.

Trapp, J., Schneider, S., Verbücheln, M., Libbe, J., Mottschall, M., Bergmann, T., Gröger, J. (2016): Ressourcenleichte zukunftsfähige Infrastrukturen – umweltschonend, robust, demografiefest (RELIS). Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu), Berlin in Kooperation mit Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Berlin. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Trapp, Jan Hendrik, Moritz Mottschall, Wulf-Holger Arndt, Dierk Bauknecht, Thomas Bergmann, Jens Gröger, Jens Libbe, Stefan Schneider, Maic Verbücheln, Jan Winkelhaus (unter Mitarbeit von Sven Hausigke) (2017/im Erscheinen): Ressourcenleichte zukunftsfähige Infrastrukturen – umweltschonend, robust, demografiefest. (Im Auftrag des Umweltbundsamts), Dessau-Roßlau.

Trapp, Jan Hendrik, Moritz Mottschall, Wulf-Holger Arndt, Thomas Bergmann, Jens Gröger, Jens Libbe, Stefan Schneider, Maic Verbücheln und Jan Winkelhaus, Jan (2017): Ressourcenleichte zukunftsfähige Infrastrukturen – umweltschonend, robust, demografiefest, Dessau (im Erscheinen).

TÜV Rheinland (2013): Szenarien und Kosten für eine kosteneffiziente flächendeckende Versorgung der bislang noch nicht mit mindestens 50 Mbit/s versorgten Regionen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Zusammenfassung. TÜV Rheinland Consulting GmbH, Telco Solutions, Berlin. Ansprechpartner Projektleiter Dirk Andritzki.

TÜV Rheinland (2014): Bericht zum Breitbandatlas Mitte 2014 im Auftrag des BMVI. Stand Mitte 2014. TÜV Rheinland Consulting GmbH, Bereich Telco Services & Solutions, Berlin. Projektkoordinator Dirk Andritzki.

UBA (2015): Daten zur Wasserwirtschaft. Öffentliche Wasserversorgung. Zugriff (1.2.2017): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasserwirtschaft/oeffentliche-wasserversorgung>.

UBA (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. CLIMATE CHANGE 24/2015. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau.

UBA (2016): Bundesverkehrswegeplan besteht eigene Umweltprüfung nicht. Zugriff (26.8.2016): <https://www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/bundesverkehrswegeplan-besteht-eigene>.

UIC (2008): International Union of Railways (UIC). Zugriff (1.2.2017): http://www.uic.org/cdrom/2008/11_wcrr2008/pdf/l.3.1.1.1.pdf.

Umweltbundesamt (2016): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/bevoelkerung-demografischer-wandel/demografischer-wandel#textpart-2>, abgerufen: 6.3.2017) Quelle: Statistisches Bundesamt (download unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechennutzung/siedlungs-verkehrsflaeche>; abgerufen: 6.3.2017).

Undine (2016): ein Projekt des BMUB. Zugriff (1.2.2017): <http://undine.bafg.de/servlet/is/18818/>.

UNEP (2004): Impacts of Summer 2003 Heat Wave in Europe. Environment Alert Bulletin. Zugriff (1.2.2017): http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/ew_heat_wave.en.pdf.

UNEP (2011): Towards a Green Economy: Pathway to Sustainable Development and Poverty Eradication.

Unger (2016): Breitband – Ziele und Visionen. Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK). Wirtschaftsdienst 2016. DOI: 10.1007/s10273-016-1928-x.

Uniper (2016): Uniper Stellungnahme NEP Gas 2016. Zugriff (25.8.2016): <http://www.fnb-gas.de/de/netzentwicklungsplan/nep-2016/nep-2016.html>.

Unwetterzentrale (2016): Unwetterzentrale der Meteomedia GmbH, Berlin. Zugriff (1.2.2017): <http://www.unwetterzentrale.de/uwz/index.html>.

VATM u.A. (2016): Deutschland und Europa brauchen gigabitfähige Netze bis zum Kunden, um die Migration zur Gigabit-Gesellschaft zu realisieren. Neue Strategie für nachhaltige Breitbandinvestitionen. Offener Brief an den Kommissar für Digitale Wirtschaft und Gesellschaft Günther Oettinger. Verband der Anbieter von Telekommunikations- und Mehrwertdiensten e. V. (VATM), Berlin.

VCD (2013): Grundkonzeption für den Bundesverkehrswegeplan 2015. Stellungnahme des VCD. Zugriff (26.8.2016): https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationsdatenbank/Verkehrspolitik/VCD_Stellungnahme_Grundkonzeption_BVWP.pdf.

Videira, N.; F. Schneider, F. Sekulova, G. Kallis (2014): Improving understanding on degrowth pathways: An explorative study using collaborative causal models. In: *Futures*: 55 (2014), S. 58–77).

VKU – Verband kommunaler Unternehmen (Hrsg.) (2012): Energiezukunft gestalten. Perspektiven kommunaler Energieerzeugung, Berlin.

Wachsmuth, J. (2014): Vulnerabilität und Resilienz als Konzepte zum Umgang mit irreduziblen Unsicherheiten bei der Energiewende. Resysstra Thesenpapier 1 www.resysstra.de.

Wachsmuth, J. et al. (2015): Richtungsgebende Einflussfaktoren im Spannungsfeld von zentralen vs. dezentralen Orientierungen bei der Energiewende und Ansatzpunkte für ein Leitkonzept Resilienz. Resysstra Diskussionspapier Nr. 1; Download unter: <http://www.resysstra.de/files/publikationen/richtungsgebende-einflussfaktoren.master.pdf>.

Wagner, U. (2016). Energy and transport systems grow together. Conference Paper. München: Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Walz, Rainer, Jonathan Kohler (2014): Using lead market factors to assess the potential for a sustainability transition. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 10 (2014), S. 20–41.

WBGU (2011): Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Hauptgutachten. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WBGU, Berlin.

WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH (2013): WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, Karlsruhe. Zugriff (1.2.2017): <http://wbw-fortbildung.net/pb/,Lde/78245.html>.

Wietschel, Martin et al. (Hrsg.) (2010): Energietechnologien 2050: Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung (Technologienbericht), Stuttgart.

WIK Consult (2016): FTTB/H-Netze für Deutschland: Relevanz, Treiber und Trends. Management Summary. WIK-Consult GmbH, Bad Honnef.

Wirtschaftsrat (2016): DigiNetz-Gesetz relevant für schnelleren Breitbandausbau Wolfgang Steiger: Gesetz senkt Kosten für Glasfaserausbau erkennbar. Wirtschaftsrat der CDU e.V., Berlin. <http://www.wirtschaftsrat.de/wirtschaftsrat.nsf/id/diginetz-gesetz-relevant-fuer-schnelleren-breitbandausbau-de>.

Workman, M., Mendes, M., Thomas, H. (2015): Energy Research Partnership: Energy & Water Infrastructure Sector Interdependencies Governance-Planning and Preparing for the Future. Zugriff (1.2.2017): http://erpuk.org/wp-content/uploads/2015/05/ERP-ITRC-UKWRIP-UKEW-Workshop-Report-17th-May-15_FINALv2.pdf.

WWF (2010): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken. Bearbeitet vom Öko-Institut und Prognos. Zugriff (22.7.2016): Download: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Modell_Deutschland_Endbericht.pdf.

Zafaco (2014): Abschlussbericht Dienstqualität von Breitbandzugängen. Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur. zafaco GmbH, Ismaning