

Skizzierung eines kommenden Forschungsfeldes

# Infrastrukturen und grüne Transformation

Die Rolle der Infrastrukturen für die Interaktionen von Mensch und Natur wird vielfach nur begrenzt wahrgenommen. Vorrangig werden Infrastrukturen im Hinblick auf die wirtschaftliche Entwicklung diskutiert. Dabei kommt der Forschung zu Infrastrukturen eine zentrale Bedeutung für eine grüne Transformation zu.

Von Jens Libbe und Ulrich Petschow

**D**ie Konflikte um den Ausbau von Infrastrukturen bezogen sich über lange Zeit vor allem auf die Verkehrs- und Energieinfrastrukturen in dem Spannungsfeld von wirtschaftlicher Entwicklung und Umweltschutz. Mit der Herausforderung der umweltseitigen Begrenzungen (planetary boundaries) wird die Relevanz der Infrastrukturen deutlich. Das Spannungsverhältnis zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Umweltrelevanz muss neu austariert werden. In dem folgenden Beitrag wird zunächst auf die Definitionen und Rollen von technischen Infrastrukturen eingegangen, bevor auf die Wende- und Transitionsdiskurse mit Blick auf die Transformation eingegangen wird. Vor dem Hintergrund eines typisierten Lebenszyklusses von Infrastrukturen, wird die Phase der Systemerneuerung beziehungsweise Transition mit Blick auf die Transitionsforschung diskutiert. Schließlich werden Forschungs Herausforderungen und einige Forschungsfragen mit Blick auf grüne Transformation und Infrastrukturen aufgezeigt.

## 1 Infrastrukturen

Infrastrukturen wird eine grundlegende Bedeutung für gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung zugesprochen. In der ökonomischen Literatur wird Infrastruktur als Voraussetzung für Wirtschaft und Gesellschaft beschrieben (Frey 2005). So definiert Jochimsen in 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). Er differenziert nach materieller (z. B. Anlagen, Ausrüstungen und Betriebsmittel der Energieversorgung), institutioneller (z. B. Normen und Rechtsordnung) und personeller Infrastruktur (z. B. Qualifikationen).

Infrastruktur ist einerseits eine Voraussetzung für Wirtschaft und Gesellschaft und wirkt somit auf diese ein, andererseits wird sie aufgrund von Entscheidungen in Wirtschaft und Gesellschaft geplant, umgesetzt und finanziert. Insofern sind Infrastruktursysteme komplexe sozioökonomische und soziotechnische 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“ (Pinch/Bijker 1987) oder in dem Konzept der „Large Technological Systems“ (Hughes 1987), in denen von der Unmöglichkeit einer präzisen Abgrenzung zwischen den verschiedenen Teilsystemen ausgegangen wird. Eine weitere Definition liefert van Laak, 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“ (van Laak 2008). Die Definition von van Laak verweist auf die Interaktion zwischen Infrastrukturen und der Nutzung von Umweltressourcen. Damit wird implizit der Zusammenhang zwischen der Übernutzung der Umwelt und den dies ermöglichenden Infrastrukturen hergestellt.

## 2 Bedeutung der Infrastrukturen, Charakterisierung und Umweltrelevanz

Weitgehende gesellschaftliche Wandlungsprozesse sind immer auch mit der Umgestaltung und Anpassung der Infrastrukturen verbunden. Die Impulse für diese Veränderungsprozesse können aus sehr unterschiedlichen Quellen gespeist werden. Dabei handelt es sich zum einen um externe Faktoren, die einen Veränderungs- und Anpassungsdruck auslösen, und zum anderen um interne Faktoren, die die Herausforderungen thematisieren und die Veränderungsprozesse anstoßen. Unter externen Faktoren werden im Folgenden vor allem die sogenannten Megatrends wie Klimawandel, Ressourcenverknappungen oder Demografie gefasst. Als interne Faktoren werden in der Folge gesellschaftliche Diskurse verstanden, die, auch vor dem Hintergrund der Megatrends, als gesell-

schaftliche Auseinandersetzungen über Zukünfte interpretierbar sind. Dazu gehören die Wendediskurse der Vergangenheit, aber auch die Diskurse, die unter den Leitbildern von Green Economy bis Postwachstum geführt werden. Die Unterscheidung von externen und internen Faktoren ist zweifelsohne in keiner Weise trennscharf, eröffnet jedoch einen adäquaten Orientierungsrahmen. So kann deutlich gemacht werden, dass die Entwicklung und Ausgestaltung von Infrastrukturen sehr eng mit den wahrgenommenen gesellschaftlichen Herausforderungen und deren gesellschaftlicher Verarbeitung verbunden sind. Zugleich sind sie 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, 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. 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.

### 2.1 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 Energieverbrauchs 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 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.

Loske und Schaeffer (2005) haben in jüngerer Zeit den Zusammenhang von nachhaltiger Entwicklung und Infrastrukturen betont, in dem sie die Frage stellen, „wie eine Infrastruktur auszusehen hätte, die den Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung genügt“ (Loske/Schaeffer 2005). Sie verweisen darauf, dass es zwar sehr viele Einzeldebatten und Konflikte um Technologien und Infrastrukturen gibt, sie stellen aber zugleich fest, „wie theorielos, wie wenig systematisch und ordnungspolitisch die Infrastrukturdebatte heute häufig geführt wird“ (Loske/Schaeffer 2005).

### 2.2 Infrastrukturen und aktuelle Transitionsdiskurse

Die Frage der Infrastrukturen hat, jenseits der Fachdiskurse, nur einen begrenzten Widerhall in den aktuellen Transitionsdiskursen gefunden. Eine Durchsicht der Degrowth- und Postwachstumsdiskurse machte deutlich, dass sich diese bisher nur begrenzt direkt mit den Fragen der Infrastrukturen und deren Umgestaltung befassen beziehungsweise dies nur mit abstrakten Anforderungen verbinden.

Die aktuellen Diskursströme, wie Green Growth, Green Economy, Postwachstum, Degrowth, zielen allesamt zumindest im Grundsatz darauf ab, die zentralen Herausforderungen der Nachhaltigkeit einer Lösung zuführen zu wollen. Sie verfolgen dabei unterschiedliche Zugänge, die an dieser Stelle nicht vertieft betrachtet werden können. Mit Blick auf die Herausforderungen an die Infrastrukturen ist festzuhalten, dass Infrastrukturen und deren Dynamiken nur sehr begrenzt explizit im Fokus dieser Ansätze stehen. Typisierend können diese Diskurse wie folgt differenziert werden:

- Im *Green Growth* werden Infrastrukturen weiterentwickelt, um den neuen Herausforderungen gerecht zu werden. Wachstum wird bei geringeren Umweltbelastungen ermöglicht.
- *Green Economy* ist orientiert auf die Minderung von Umweltverbräuchen. Infrastrukturen dienen zur Unterstützung des Pfadwechsels.
- Im *Postwachstum* unterstützen die Infrastrukturen den Wandel. Sie sind eingebettet in ein verändertes, nicht wachstumsgetriebenes Wirtschaftsregime und orientieren sich an den Wende-Vorstellungen.
- Im *Degrowth* spielen Infrastrukturen in der aktuellen internationalen Debatte gegenwärtig nur eine begrenzte Rolle (Videira et al. 2014). Ähnlichkeiten zu den Wende-Vorstellungen sind unverkennbar.

Neben diesen Herausforderungen üben die gesellschaftlichen Megatrends in ihren unterschiedlichen Dimensionen bereits einen deutlichen Anpassungsdruck auf die bestehenden Infrastrukturen aus. Das eher ruhige Fahrwasser der Infrastrukturentwicklung, wie es sich insbesondere seit den 1950er-Jahren bis weit hinein in die 1990er-Jahre dargestellt hat, wird durch sehr viel unruhigere Zeiten abgelöst, in denen Planungssicherheiten zunehmend infrage gestellt werden. Dies sowohl durch Herausforderungen wie die Liberalisierung als auch durch den Transformationsdiskurs. Damit, so eine These, ergeben sich zumindest Öffnungsprozesse für die gesellschaftlichen Diskurse um Zukünfte, die sich einerseits in den Wendediskursen niederschlagen und andererseits an die aktuellen gesellschaftlichen Diskurse, beispielsweise zu Green Economy und Postwachstum, anschlussfähig sind. Damit gelangt der gesellschaftliche Wandel in den Blick entsprechender Diskurse und der Fokus einer so verstandenen Infrastrukturpolitik liegt letztlich auf einer Art gestaltenden Langfristpolitik, die nicht einen fixen Masterplan, sondern konkrete Gestaltungsorientierungen mit Blick auf die langfristigen Ziele der Nachhaltigkeit verfolgt.

### 3 Herausbildung und Wandel von Infrastrukturen

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Forschung zur Entstehung und den Entwicklungsdynamiken von Infrastrukturen und Infrastruktursystemen dargestellt, wie sie bereits oben mit Blick auf den Ansatz der Large Technical Systems skizziert wurden. Edwards et al. (2007), aber auch Bolton und Foxon (2014) 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 drei beziehungsweise vier Phasen unterteilen (siehe Abbildung 1), der Phase der Systembildung, des Technologietransfers und der Konsolidierung, die in der Folge kurz skizziert werden sollen:

- **Phase der Systembildung:** Lokale Systeme bilden sich dezentral heraus (beispielsweise Eisenbahn und Energie). Es kommt zur Herausbildung von Netzwerken. „True infrastructures only begin to form when locally constructed, centrally controlled systems are linked into networks and inter-networks governed by distributed control and coordination processes“ (Edwards et al. 2007). Die Herausbildung von solchen Systemen wird häufig durch radikale technische Innovationen ausgelöst, denen 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 beziehungsweise unter Druck gesetzt werden. Dieser Übergang ist mit Auseinandersetzungen und Machtkämpfen um neue Strukturen und institutionelle Arrangements gekennzeichnet. Bestehende Leitbilder, Regeln, Normen und Routinen werden infrage gestellt.
- **Phase des Technologietransfers:** Die Technologie beziehungsweise die Infrastruktur wird von einem Ort oder Bereich zu anderen Orten oder Bereichen transferiert. Das System passt sich unter anderem an neue rechtliche, technische, soziale oder finanzielle Bedingungen an oder wird angepasst. Ein Größenwachstum und die Herausbildung von Systemen werden angestoßen, die sich gegen bestehende Systeme durchsetzen können. Die Rolle und Bedeutung von Nutzern und Nutzergemeinschaften bei der Gestaltung des Systems nimmt zu.
- **Phase der Konsolidierung:** Infrastrukturen konsolidieren sich durch Gateways, sodass heterogene Systeme in Netzwerken miteinander verbunden werden können. Der Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Systemen vermindert sich beziehungsweise löst sich auf. In der Folge bilden sich Pfadabhängigkeiten heraus.
- **Phase der Stagnation und Erneuerung:** Die Infrastrukturen können ihre Leistungsüberlegenheit unter veränderten Rahmenbedingungen nicht mehr ausspielen oder offen-

baren spezifische Mängel. Ehemals positive Skalenökonomien schwächen sich ab. Es kommt zu negativen Effekten infolge von Sättigungstendenzen und sinkender Nachfrage, was Anlass für eine grundlegende Erneuerung oder auch Transformation sein kann.

Gegenwärtig stehen wir vor einer Phase der Systemerneuerung, in der Infrastrukturen umgebaut werden beziehungsweise sich in der Transition befinden. Vor dem Hintergrund absehbarer ökologischer, ökonomischer, aber auch technologischer Limitierungen beginnen sich die Anforderungen an die Infrastrukturen zu verändern. An die Stelle beinahe unbegrenzter Leistungsbereitstellung als Basis des wirtschaftlichen Wachstums treten vermehrt Anforderungen des Umweltschutzes im Sinne von Energie- und Ressourceneffizienz sowie finanzielle Tragfähigkeit. Darüber hinaus gelten Infrastrukturen zunehmend als ein Schlüssel für die Ermöglichung von Strategien der Suffizienz im Sinne von nachhaltigem Konsum und Selbstbegrenzung. Die vorhandenen Systeme stehen damit auf dem Prüfstand. Die konkreten Entwicklungsrichtungen sind, wie immer in solchen Prozessen, noch nicht klar, sondern entwickeln sich im Kontext von Entwicklungsvorstellungen und Leitbildern, konkreten handelnden Akteuren, Governancestrukturen sowie technischen und sozialen Kontexten.

### 4 Hemmnisse und Herausforderungen der Transformation von Infrastrukturen

Soziotechnische Transformationen sind kein deterministischer Prozess. Sie verlaufen weder linear, noch sind sie ein Vorgang mit genau bestimmbar Ergebnis. Sie sind auch kein punktuell Ereignis, vielmehr dauern solche Phasen des Umbruchs oft mehrere Jahrzehnte an und die Tiefe des Umbruchs ist unterschiedlich ausgeprägt. Eine neue Technologie ist ein wesentlicher Einflussfaktor der Transformation, der Umbruch geht gleichwohl mit mehr oder minder weitreichenden organisationalen, strukturellen und institutionellen Veränderungen einher. Erst durch diesen koevolutionären Prozess kann das innovative Potenzial der Transformation voll zur Geltung kommen.

#### 4.1 Pfadabhängigkeiten von Infrastrukturen

Soziotechnische Systeme besitzen eine enorme Beharrungskraft, die sich aus der Historizität von technisch-wirtschaftlichen Entwicklungen und der damit verbundenen institutionellen Konfigurationen erklärt. Solche Pfadabhängigkeiten sind für unsere Infrastrukturen kennzeichnend, wobei ökonomische Effekte infolge von Größenvorteilen, Dichteeffekten oder auch Verbundeffekten als determinierende Faktoren hinzukommen. Pfadwechsel werden aufgrund von Verriegelungseffekten („lock-in“-Effekte) zusätzlich erschwert, da Anlagenersteller, 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. Beispielhaft hierfür sind

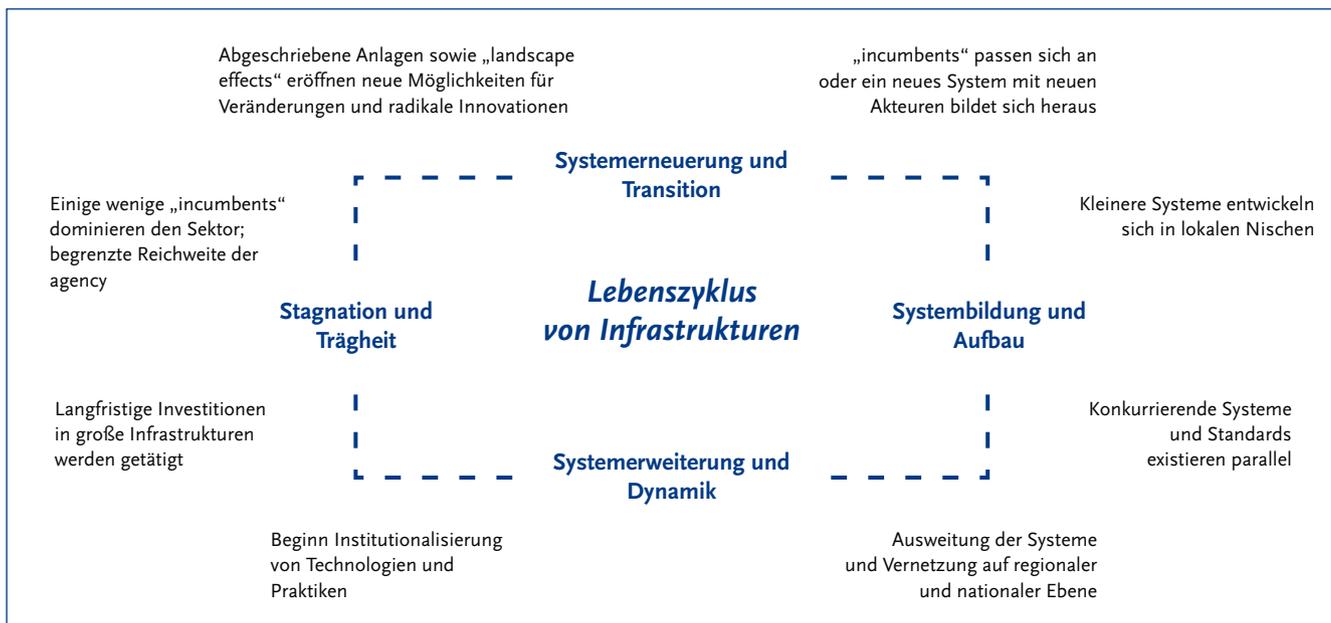


Abbildung 1: Lebenszyklus von Infrastrukturen (Bolton/Foxon 2014, eigene Übersetzung)

die stadttechnischen Infrastrukturen. Sie haben sich vor rund 150 Jahren in einer Phase rasanten Stadtwachstums durchgesetzt und die weitere infrastrukturelle Entwicklung war durch sie determiniert.

#### 4.2 Möglichkeiten des Pfadwechsels

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 Beispiel dafür ist Fukushima und die Folgen für die bundesdeutsche Energiepolitik. Ein Pfad kann ebenso enden, wenn technische Alternativen vorhanden sind, die einen absoluten Vorteil gegenüber dem bestehenden Standard aufweisen und dadurch massiven Wettbewerbsdruck auslösen. Ein Beispiel dafür ist der Stand der Technik bei den Anlagen für Erneuerbare Energien in Verbindung mit der Liberalisierung des Energiemarktes. 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 (Beispiel: Kernenergie) oder auch negative Skaleneffekte einstellen (Beispiel: siedlungswasserwirtschaftliche Systeme oder Fernwärmenetze in Gebieten mit stark abnehmenden Bevölkerungszahlen), welche die selbstverstärkende Wirkung aufheben und die positiven Feedback-Effekte umkehren. Dies betrifft auch die mit einem Pfad verbundenen Institutionen.

#### 4.3 Institutionelle Hemmnisse und Voraussetzungen

Es sind vor allem institutionelle Hemmnisse, die angepassten Infrastrukturlösungen entgegenstehen. Zum einen bedarf es der Anpassungen von rechtlichen Regelungen, Nor-

men und Standards, um in diesem Fall die Kreislaufwirtschaft real werden zu lassen (Beispiel: die Deklaration von Stoffen zur Verwertung anstatt zur Entsorgung). Zum anderen, und dies ist quasi eine Voraussetzung dafür, dass diese Anpassungen erfolgen, bedarf es auch einer Anpassung auf der Ebene der diese formellen Regelungen maßgeblich beeinflussenden Einrichtungen. Es sind hier nicht allein formelle Zuständigkeiten, sondern vielfach auch informelle Regelungen, Zuständigkeiten und Routinen, die der Veränderung bedürfen. Hier besteht eine enge Wechselbeziehung zwischen Leitbildern und institutionellem Design. Es geht insofern nicht allein um die Anpassung der materiellen Infrastruktur sondern letztlich um die Transformation des soziotechnischen Systems.

#### 4.4 Infrastrukturübergreifende Herausforderungen der Transformation

Die Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung und die damit verbundenen Anforderungen an die Stoffströme haben Auswirkungen auf alle Infrastrukturen. Dieser Anpassungsdruck im Übergang von wachstumsgetriebenen zu nachhaltigen Gesellschaften muss letztlich infrastrukturübergreifend bewältigt werden und stellt damit eine Herausforderung für die Entwicklung der jeweiligen Infrastrukturen und vor allem auch für die Interaktion zwischen den Infrastrukturen dar.

### 5 Forschung zu Infrastrukturen und deren Transformation

Die Forschung zu Infrastrukturen, deren Entwicklungsdynamiken und Transitionen ist durch eine gewisse Bipolarität gekennzeichnet. Auf der einen Seite wird im Kontext der internationalen Transformationsforschung bisher kaum ein Fo-

kus auf Infrastrukturen gelegt. Die Infrastrukturforschung ist überwiegend auf einzelne Sektoren bezogen, auf den inkrementellen Wandel fokussiert, einzeldisziplinär angelegt oder vielfach auch nur auf einzelne Systemelemente bezogen (vgl. dazu auch Loorbach et al. 2010). Forschungsfragen zu Infrastrukturen und Transformation werden vorwiegend mit Blick auf das notwendige Systemwissen (zum Beispiel Muster des Wandels, Akteure und Governanceformen) formuliert.

Auf der anderen Seite ist festzustellen, dass sehr konkrete Forschungsansätze in Infrastrukturbereichen wie Energie und Wasser beziehungsweise Abwasser mit Blick auf Transitionen durchgeführt werden, die zudem die aktuell laufenden vielfältigen Veränderungs- und Gestaltungsprozesse im Bereich der Transition der Infrastrukturen begleiten und unterstützen. Als anwendungsorientierte Nachhaltigkeitsforschung wird dabei die Kooperation mit gesellschaftlichen Akteuren unter anderem aus Kommunen und Versorgungswirtschaft gesucht. Analytisch sich an die internationale Transformationsforschung anlehnend werden in Fallstudien experimentell konkrete Schritte der Umsetzung gegangen.

Ausgehend von dieser Bestandsaufnahme infrastruktureller Entwicklungen und den Möglichkeiten der Initiierung sowie Gestaltung von Transformation wird deutlich, dass ein erheblicher Forschungsbedarf im Bereich grüne Transformation und Infrastrukturen besteht. Beispielhaft und keineswegs abschließend können folgende Fragestellungen benannt werden:

- Transformationsherausforderungen und die Rolle der Infrastrukturen in den Veränderungsprozessen.
- Wandel von Infrastrukturvorstellungen – Paradigmenwechsel und Paradigmenwandel für energie- und ressourceneffiziente und Suffizienz fördernde Infrastrukturen.
- Rolle und Relevanz von Leitbildern und Leitorientierungen für die Transformation der Infrastrukturen – Herstellung von Richtungssicherheit.
- Kopplung von Infrastrukturen – Fallbeispiele intelligenter und vernetzter Systemlösungen zur Steigerung von Energie- und Ressourceneffizienz.
- Infrastrukturen und Kollektivgüterversorgung – Kriterien und Prinzipien einer zeitgemäßen Daseinsvorsorge zur Gewährleistung gleichwertiger Lebensbedingungen.
- Governance und Transformationsmanagement für den Umbau der technischen Systeme – Beteiligungsverfahren bei Infrastrukturvorhaben.

Aus den Fragestellungen wird deutlich, dass der Forschungs- und Gestaltungsbedarf über die Zusammenhänge von weitreichenden Transformationen und den Infrastrukturen immens ist. So existieren zu beobachtende Trends angepasster Infrastrukturbereitstellung, wie Entwicklungen hin zu dezentralen Anlagen und Modularisierungen, den Suchprozessen nach neuartigen Systemlösungen und Systemintegrationen bis hin zur Multifunktionalität, der Ausdifferenzierung der Formen der Leistungserbringung und neuer Regelungsformen. Es besteht damit einerseits ein umfassender Forschungsbedarf mit Blick auf die systematische Analyse der angeführten Trends

und auf der anderen Seite werden Forschungsdefizite zu Infrastrukturen offenbar, da Forschungsansätze überwiegend segmentiert auf einzelne Sektoren, einzeldisziplinär und auf einzelne Systemelemente bezogen sind. Infrastrukturen und ihre Kopplungen stehen bisher nicht hinreichend im Fokus der Transitionsforschung.

## Literatur

- Bolton, R./Foxon, T. J. (2014): Infrastructure transformation as a socio-technical process – Implications for the governance of energy distribution networks in the UK. In: *Technological Forecasting and Social Change*, 90/B, S. 538–550.
- Edwards, P. N./Jackson, S. J./Bowker, G. C./Knobel, C. P. (2007): *Understanding Infrastructure: Dynamics, Tensions, and Design*. Report of a Workshop on „History & Theory of Infrastructure: Lessons for New Scientific Cyberinfrastructures“. Im Internet unter: [http://cohesion.rice.edu/Conferences/Hewlett/emplibrary/UI\\_Final\\_Report.pdf](http://cohesion.rice.edu/Conferences/Hewlett/emplibrary/UI_Final_Report.pdf).
- Frey, R. L. (2005): *Infrastruktur*. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Raumordnung*. Hannover, S. 469–475.
- Hughes, T. P. (1987): *The Evolution of Large Technological Systems*. In: Bijker, W. E./Hughes, T. P./Pinch, T. (Hrsg.): *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge, Massachusetts, S. 51–82.
- Jochimsen, R. (1966): *Theorie der Infrastruktur*. Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung. Tübingen.
- Laak, van D. (2008): *Infrastrukturen und Macht*. In: Duceppe-Lamarre, F./Engels, J. I. (Hrsg.): *Umwelt und Herrschaft in der Geschichte*. München, Oldenbourg, S. 106–114.
- Loorbach, D./Frantzeskaki, N./Thissen, W. (2010): Introduction to the special section: Infrastructures and transitions. In: *Technological Forecasting and Social Change* 77, S. 1195–1202.
- Loske, R./Schaeffer, R. (2005): *Infrastrukturpolitik als ordnungspolitische Gestaltungsaufgabe*. In: Loske, R./Schaeffer, R. (Hrsg.): *Die Zukunft der Infrastrukturen*. Intelligente Netzwerke für eine nachhaltige Entwicklung.
- Pinch, T. J./Bijker, W. E. (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, W. E./Hughes, T. P./Pinch, T. (Hrsg.): s. o.
- Videira et al. (2014): *Improving understanding on degrowth pathways: An explorative study using collaborative causal models*. In: *Futures* 55, S. 58–77.
- WBGU (2011): *Welt im Wandel*. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation, Berlin.

## AUTOREN + KONTAKT

**Jens Libbe** arbeitet am Institut für Urbanistik (Difu).

Difu, Zimmerstraße 13–15, 10969 Berlin.  
Tel.: +49 30 39001-115, E-Mail: [libbe@difu.de](mailto:libbe@difu.de)



**Ulrich Petschow** ist Leiter des Forschungsfeldes Umweltökonomie und Umweltpolitik am Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).

IÖW, Potsdamer Str. 105, 10785 Berlin.  
Tel.: +49 30 884594-0, E-Mail: [ulrich.petschow@ioew.de](mailto:ulrich.petschow@ioew.de);  
Internet: [www.ioew.de](http://www.ioew.de)

