

Jochen Monstadt

Technische Infrastruktur

S. 2649 bis 2662

URN: urn:nbn:de: 0156-55992514



CC-Lizenz: BY-ND 3.0 Deutschland

In:

ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.):
Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung

Hannover 2018

ISBN 978-3-88838-559-9 (PDF-Version)

URN: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0156-55993>

Technische Infrastruktur

Gliederung

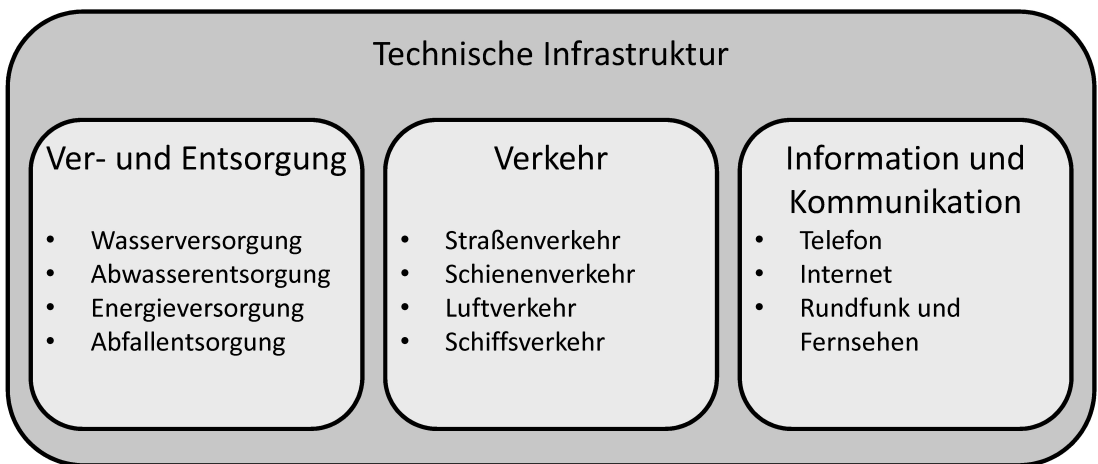
- 1 Begriff
 - 2 Merkmale
 - 3 Bedeutung für die Raumentwicklung
 - 4 Raumwissenschaftliche Infrastrukturdebatten
 - 5 Ausblick: Räumliche Politik und Planung technischer Infrastrukturen
- Literatur

Die raumwissenschaftliche Debatte um technische Infrastrukturen in Deutschland wird bislang stark durch wirtschaftswissenschaftliche Perspektiven bzw. durch Diskussionen um Planungsinstrumente und Prüfverfahren der räumlichen Planung technischer Anlagen und -netze dominiert. Indem hier zunächst die Hauptmerkmale dieser sozio-technischen Systeme zusammengefasst und ihre vielfältigen Wechselwirkungen mit der Raumentwicklung skizziert werden, wird diese Debatte erweitert.

1 Begriff

Nur wenige Prozesse haben die Räume im vergangenen Jahrhundert so tiefgreifend und dynamisch verändert wie die Innovation und Verbreitung technischer Infrastrukturen. Zu nennen sind nicht allein die infrastrukturellen Neuerungen, welche die dynamischen Urbanisierungsprozesse und später auch Suburbanisierungsprozesse ebenso wie die Erschließung ländlicher Räume (▷ *Ländliche Räume*) ermöglicht haben, etwa die Hygienisierung des Siedlungsraums durch Abfall-, Wasser- und Abwassersysteme, die Elektrifizierung, die Entwicklung moderner Transportsysteme oder neuere Entwicklungen im Bereich von IuK-Technologien (▷ *Informations- und Kommunikationstechnologie*). Insbesondere die erweiterten technischen Möglichkeiten der kommunikativen und physischen Raumüberwindung haben die räumlichen Strukturen und Beziehungen moderner Gesellschaften radikal verändert.

Abbildung 1: Bereiche technischer Infrastruktur



Quelle: Eigene Darstellung

Bei technischen Infrastrukturen handelt es sich um technisch und organisatorisch hochkomplexe, kapitalintensive und raumwirksame Einrichtungen materieller und institutioneller Art, die über die Bereitstellung von kritischen Dienstleistungen das Funktionieren moderner Gesellschaften und arbeitsteiliger Volkswirtschaften ermöglichen. Hierzu zählen die leitungsgebundene Versorgung mit Elektrizität, Gas, Fern- und Nahwärme sowie Wasser, die Entsorgung von Abwässern und Abfällen, die Informations- und (Tele-)Kommunikationssysteme ebenso wie die verschiedenen Transportsysteme (s. Abb. 1). Technische Infrastrukturen gewährleisten den Fluss von Wasser, Energie, flüssigen und festen Abfällen, digitalen und analogen Signalen, Menschen, Gütern und Dienstleistungen im ▷ *Raum* zumeist über technische Netze wie Rohre, Leitungen, Straßen, Schienen (▷ *Verkehrsinfrastruktur*) und Kanalisationen (vgl. Neumann 2006: 6).

Abgeleitet von der lateinischen Begriffsherkunft (*infra*: unterhalb und *structura*: Zusammenfügung) werden technische Infrastrukturen in der deutschsprachigen Diskussion bis in die heutige Zeit vor allem über ihre gesellschaftliche Funktion als „Unterbau der Wirtschaft“, also als

Voraussetzung für die Herstellung, Verteilung und Verwendung von Waren und Dienstleistungen, definiert (vgl. Frey 2005: 469; Jochimsen 1966). Erst innerhalb des letzten Jahrzehnts wurde dieses monofunktionale und instrumentelle Verständnis relativiert: So sind Infrastrukturen sowohl die Basis als auch das Resultat „von Interaktionen zwischen räumlichen, zeitlichen und sozialen Schichten und eines der wirksamsten Medien zur Erschließung und Ordnung des öffentlichen Raums“ (van Laak 2001: 368, 370). Infrastrukturen prägen die Form gesellschaftlicher Austauschbeziehungen zwischen Räumen, Gruppen und Individuen und bestimmen über deren Inklusion und Exklusion. Schließlich dienen technische Infrastrukturen als materielle Vermittler zwischen Natur und Gesellschaft, welche nicht nur die Entnahme natürlicher Ressourcen und Eingriffe in Natur und Landschaft, sondern zugleich die Produktion und Behandlung von Abfällen (▷ *Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft*) strukturieren (vgl. Kaika/Swyngedouw 2004; Monstadt 2009).

Technische Infrastruktursysteme sind infolge technischer Innovationen entstanden. Spezifische Techniken – z. B. Kraftwerke, Netze – prägen ihre institutionell-organisatorische Struktur, das soziale Handeln und die sozialen Beziehungen von Nutzern, Betreibern, Planern etc. Andererseits sind diese Systeme sozial konstruiert, d. h., spezialisierte Berufsgruppen, eine spezielle Wissensbasis, rechtliche Normen, Standards, technische und planerische Leitbilder, kulturelle Kontexte, Nutzungspraktiken etc. prägen die Genese und den Wandel von Infrastruktursystemen. Sie sind demnach „socially constructed and society shaping“ (Hughes 1987: 51). Um technische Infrastruktursysteme analytisch zu erfassen, sind folgende Komponenten zu unterscheiden: (1) *materielle Strukturen*, also technische Artefakte und Netze zur Produktion und Nutzung von Infrastrukturdienstleistungen, sowie die hierdurch gesteuerten Stoffflüsse, (2) die *Industrie- und Nutzungsstrukturen*, also die institutionellen Arrangements und Praktiken zur Produktion und Nutzung von Infrastrukturdienstleistungen, sowie (3) die *Governancestrukturen* (▷ *Governance*), im Rahmen derer staatliche Akteure gemeinsam mit Wirtschafts- und zivilgesellschaftlichen Akteuren die Planung und Gewährleistung öffentlicher Infrastrukturdienstleistungen organisieren (vgl. Monstadt 2009). Insbesondere die neuere Infrastrukturforschung weist darauf hin, dass diese technischen und gesellschaftlichen Komponenten eng miteinander gekoppelt sind (z. B. technische Netze und Anlagen, technische und soziale Normen, organisatorische Praktiken der Unternehmen, Regulierungsinstitutionen, Nutzungspraktiken, Wissensbestände). Es bilden sich insofern in der Regel kohärente, eng gekoppelte Konstellationen technischer und sozialer Komponenten heraus – sogenannte sozio-technische Regime (vgl. Geels 2002). Diese prägen die Richtung von Innovationsprozessen und den Grad technologischer und sozialer Variation.

2 Merkmale

Technische Infrastrukturen stellen notwendige und nur schwer substituierbare private und öffentliche Dienstleistungen bereit. Diese Ermöglichungs- und Vorleistungsfunktionen haben technische Infrastrukturen mit sozialen Infrastrukturen (▷ *Soziale Infrastruktur*) gemein. Gemeinsam sollen sie für einen ungehinderten wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Austausch sorgen (vgl. Jochimsen 1966: 105 ff.) und einer räumlichen Integration im Sinne eines homogenen Wirtschafts- und Lebensraumes dienen. Neben ihrer gesellschaftlichen Funktion im Bereich der ▷ *Daseinsvorsorge* und der auch für soziale Infrastrukturen charakteristischen Staatsnähe weisen technische Infrastrukturen die folgenden spezifischen Charakteristika auf:

Technische Infrastruktur

- *Raumgebundenheit und weiträumige Vernetzung:* Technische Infrastruktursysteme basieren auf standortgebundenen, meist kapitalintensiven baulichen Anlagen. Sie sind in die gebaute Umwelt eingebettet und häufig weiträumig vernetzt. Im Siedlungsraum der Industriestaaten ist die Ausbreitung der Netze nahezu flächendeckend, und ihre Infrastrukturleistungen sind weitgehend unabhängig von Tages-, Nacht- und Jahreszeit verfügbar. Über die physische Vernetzung hinaus zeichnen sich auch ihre sozialen Systemkomponenten – etwa Qualitätsstandards, spezialisierte Berufsgruppen, Verbände, Wissenschaft etc. – durch eine intensive und weiträumige Vernetzung aus, die letztlich auch in technischer Hinsicht ein hohes Maß an Konvergenz zur Folge hat.
- *Prägung durch Technik:* Technische Infrastrukturen hängen eng mit der Verwendung technischer Artefakte zusammen. Hierbei sind die technischen Systembestandteile überwiegend eng miteinander gekoppelt (technische Interdependenzen) und durch eine lange Lebensdauer gekennzeichnet. Während traditionell angenommen wurde, dass eine Unteilbarkeit der Anlagen bzw. große Mindestanlagen zu den technischen Grundmerkmalen zählen (vgl. Frey 2005), müssen solche Annahmen aufgrund technischer Innovationen im Bereich dezentraler Anlagen und informationstechnischer Möglichkeiten zur Koordination dezentral verteilter Anlagen hinterfragt werden. Das etablierte Technikprofil eines Infrastruktursektors begrenzt die Wahlmöglichkeiten der involvierten Akteure und die denkbaren Gestaltungsoptionen (vgl. Dolata/Werle 2007: 23) und kann so zu einer Verfestigung bestehender räumlicher Strukturen und Praktiken beitragen. Zugleich schaffen technische Innovationen neue Möglichkeitsräume und Entwicklungskorridore der *Raumentwicklung* (vgl. Dolata/Werle 2007: 20), die es ohne diese Techniken nicht geben würde (etwa die informationstechnische Vernetzung von Räumen oder die Entwicklung von „smart cities“).
- *Ökonomische Merkmale:* Technische Infrastruktursysteme sind in der Regel durch eine hohe Kapitalintensität, lange Amortisationszeiträume, einen hohen Anteil versunkener Fixkosten, sinkende Durchschnittskosten und ausgeprägte externe Effekte gekennzeichnet. Teilweise besteht eine Nichtrivalität in der Nutzung, d. h., mehrere Wirtschaftssubjekte können technische Infrastrukturanlagen bis zu einem gewissen Grad gleichzeitig nutzen, ohne sich gegenseitig zu behindern. Traditionell wurden zudem Größen- und Verbundvorteile („economies of scale/scope“), das Vorliegen eines natürlichen Monopols sowie ausgeprägte Sprungkosten unterstellt – Annahmen, die infolge der Liberalisierung der Infrastrukturversorgung jenseits des Netzbetriebs und auch angesichts neuer technischer Entwicklungen zu differenzieren sind.
- *Pfadabhängigkeit:* Im Laufe der Zeit entwickeln technische Infrastrukturen ein ausgeprägtes Beharrungsvermögen (vgl. Hughes 1987): Die technischen Artefakte sind durch eine beträchtliche Größe, weiträumige Vernetzung, Dauerhaftigkeit und enorme versunkene Kosten geprägt und vielfältig in die gebaute Umwelt eingebettet. Zugleich ranken sich im Laufe der Zeit politische und wirtschaftliche Interessen, Nutzungspraktiken, Wissensbestände etc. entlang bestimmter Techniken. Infrastrukturen verkörpern somit „geronnene soziale Interessen“ (vgl. Bijker 1995), die einen Erhalt bestehender Strukturen oder deren inkrementelle Fortentwicklung begünstigen. Durch die enge Kopplung dieser technischen und institutionellen Pfadabhängigkeiten reduzieren etablierte Infrastruktursysteme in vielen Fällen die Geschwindigkeit räumlichen Wandels und können räumliche „lock-ins“ in etablierte Strukturen verstärken (vgl. Hommels 2005; Monstadt/Wolff 2015).

- *Kritikalität und Vulnerabilität*: Moderne Gesellschaften haben sich von der friktionsfreien Bereitstellung von Infrastrukturdiensten abhängig gemacht. Infrastrukturausfälle durch Unfälle, Terroranschläge, menschliches Fehlverhalten oder Umweltereignisse (z. B. Hochwasser, Dürren, Klimawandel) können daher zu einschneidenden Störungen des gesellschaftlichen Lebens führen (▷ *Vulnerabilität*). Enge technische Kopplungen innerhalb und zwischen den Sektoren und ihre zunehmende Durchdringung durch IuK-Technologien (▷ *Informations- und Kommunikationstechnologie*) haben die Leistungsfähigkeit moderner Infrastruktursysteme enorm gesteigert. Technische Störungen einzelner Systembestandteile können durch diese Interdependenzen jedoch zu weitreichenden Kaskadeneffekten führen. Das Störpotenzial der Systeme ist umso größer, je mehr Gesellschaften von ihren Dienstleistungen abhängig sind, je zuverlässiger sie im Normalbetrieb funktionieren (Verletzlichkeitsparadoxon) und je enger sie miteinander gekoppelt sind.
- *Staatsnähe*: Zumindest in den Industrieländern wurden technische Infrastrukturen aufgrund technischer und ökonomischer Besonderheiten sowie ihrer zentralen Rolle für die Raumentwicklung und öffentliche Daseinsvorsorge lange Zeit als staatsnahe Sektoren in Form staatlich lizenzierter und kontrollierter Gebietsmonopole organisiert. Durch öffentliche Unternehmen wurden und werden Versorgungsaufgaben vielfach durch den Staat bzw. die Kommunen selbst wahrgenommen und öffentliche Infrastrukturinvestitionen teilweise als Voraussetzung für die Umsetzung strukturpolitischer Ziele gesehen. Infolge veränderter ordnungspolitischer Überzeugungen, europäischer Binnenmarktpolitiken und fiskalischer Krisen wurden in zahlreichen Infrastruktursektoren seit den 1990er Jahren unterschiedliche Wettbewerbsmodelle eingeführt, Unternehmen veräußert und eine Nutzerfinanzierung eingeführt. Auch wenn sich Staat und Kommunen damit teilweise aus der Leistungserbringung zurückziehen, ist es in Folge von Privatisierung und Liberalisierung zu einer umfangreichen Re-Regulierung gekommen. Die Aufgaben des Staates verschieben sich damit zunehmend in Richtung einer Regulierung der Marktbedingungen und der privaten Leistungserbringer (Grande 2000).

3 Bedeutung für die Raumentwicklung

Die Raumentwicklung moderner Gesellschaften wird gewissermaßen durch technische Infrastrukturen „infiltriert“ (vgl. Neumann 2006) bzw. „formatiert“, und diese zählen auf vielfache Weise zu zentralen Katalysatoren der Raumentwicklung: Der diskriminierungsfreie, flächendeckende, zu jeder Zeit sichere und kostengünstige Zugang zu technischen Infrastrukturdienstleistungen ist ein wesentliches Element der öffentlichen ▷ *Daseinsvorsorge*. Infrastrukturnetze können Räume erschließen, verknüpfen und integrieren und zur sozialen und räumlichen Kohäsion beitragen; allerdings können sie auch Räume und Nutzergruppen ausschließen und räumliche Grenzen und Zugangsbarrieren definieren. Die Zugänglichkeit zu Infrastrukturdiensten und die physische Angebundenheit von Räumen an Infrastrukturnetze sind daher wichtige Indikatoren für den Grad sozialer und räumlicher Kohäsion.

Zugleich gelten technische Infrastrukturen als notwendige – wenngleich keinesfalls als hinreichende – Voraussetzung für die wirtschaftliche Entwicklung von Regionen (▷ *Region*) (vgl. Frey 2005: 471). Die technische Zuverlässigkeit, die Qualität und das Preisniveau von Infrastrukturdienstleistungen sind wichtige Standortfaktoren und beeinflussen die Wettbewerbsfähigkeit von Städten und Regionen (▷ *Standortpolitik*). Ferner zählen Infrastrukturunternehmen selbst zu wichtigen regional gebundenen Investoren, Arbeitgebern, Steuerzahlern, Immobilienbesitzern sowie Promotoren der Wissens- und Technologieproduktion. Schließlich sind technische Infrastrukturen von zentraler ökologischer Bedeutung: Ihre Stoffströme fungieren als Katalysatoren der globalen Verknappung endlicher Ressourcen sowie zahlreicher Umweltbelastungen. Zugleich stellt ihre ökologische Modernisierung einen wichtigen Schlüssel und Indikator für die ökologische Raumentwicklung dar.

Infrastrukturen stehen in einem „wechselseitigen Bedingungsverhältnis“ (Beckmann 1988: 13) mit der gebauten Umwelt und der Siedlungsstruktur (▷ *Siedlung/Siedlungsstruktur*) von Städten und Regionen bzw. des nationalen und europäischen Territoriums. Durch die Gliederung des besiedelten Raums durch Infrastrukturnetze und die durch Infrastrukturnetze vorgenommenen Grenzziehungen zum unbesiedelten Raum bzw. die Zerschneidung von Freiräumen (▷ *Freiraum*) durch Netze und Betriebsanlagen haben technische Infrastrukturen wesentlichen Einfluss auf die Ordnung von Räumen. Sie tragen entscheidend dazu bei, städtische Räume als Zentren und Knotenpunkte im – durch Infrastrukturnetze regulierten – Fluss von Bewegung und Austausch zu konstruieren (vgl. Graham/Marvin 2001: 8). Die Netztopologien und die durch sie strukturierte Interaktionsdichte sind daher prägend für die Konstruktion (oder Entgrenzung) von Städten und ihrem Umland bzw. von Stadt und Land. Zugleich prägen Infrastrukturnetze die relationalen Ordnungen im Raum, indem sie das Fundament der räumlichen Zirkulation von Personen, Gütern, Stoffen und Kommunikation bilden und sowohl die Topologie, die Richtung als auch die Geschwindigkeit dieser Flüsse beeinflussen.

Die Entwicklung und Innovation technischer Infrastrukturen verläuft keineswegs als räumlich homogener und konvergenter Prozess. Vielmehr werden sozio-technische Konstellationen der Infrastrukturversorgung stark durch räumliche Kontexte geprägt, etwa durch die natürliche Geographie, die Bevölkerungsstruktur, die Siedlungsstruktur, Institutionen und Praktiken lokaler und regionaler Politik, Wirtschaft und Nutzer etc. Es bilden sich somit raumspezifische „Technologiestile“ (vgl. Hughes 1987) heraus. Insbesondere die gegenwärtige Erweiterung der technologischen Optionenvielfalt in der Infrastrukturversorgung, aber auch die intensive Ausdifferenzierung der Infrastrukturmärkte finden ihren Ausdruck in einer stärkeren räumlichen Differenzierung der Infrastrukturversorgung und raumspezifischen Infrastrukturlösungen.

Insgesamt können technische Infrastrukturen somit als Voraussetzung, Katalysator sowie als Ergebnis der Raumentwicklung verstanden werden. Aufgrund der engen Wechselwirkungen von technischer Infrastruktur- und Raumentwicklung, der mehrdimensionalen sozialen, ökonomischen und ökologischen Funktionen von Infrastrukturen sowie ihrer raumbildenden, -konservierenden und -verändernden Funktionen kann die Infrastrukturanalyse als elementar für das Verständnis von Räumen, räumlicher Innovationsprozesse und -blockaden sowie der Handlungsfähigkeit räumlicher Politik gelten.

4 Raumwissenschaftliche Infrastrukturdebatten

Die raumwissenschaftliche Infrastrukturdebatte in Deutschland wird bis in die heutige Zeit stark durch wirtschaftswissenschaftliche Perspektiven und deren Fokussierung auf ökonomische Effekte von Infrastrukturinvestitionen dominiert. So wird in den Wirtschaftswissenschaften seit den 1960er Jahren kontrovers über den Beitrag von Infrastrukturen zur Förderung und Integration der Wirtschaftstätigkeit, über Wachstums- und Verteilungseffekte sowie über Infrastrukturen als Standortfaktoren und als Voraussetzung für private Investitionen und privaten Verbrauch diskutiert (vgl. Jochimsen 1966; Frey 1972; Prätorius 2004; Frey 2005). Zwar kritisieren empirische Studien zunehmend das lange Zeit dominante Paradigma, dass eine investive Infrastrukturpolitik in jedem Fall regionale Wachstumsimpulse bewirke, da das Angebot an technischen Infrastrukturdiensten in hochentwickelten Volkswirtschaften nicht mehr zu den zentralen Faktoren der Standortwahl von Industriebetrieben (▷ *Standortentscheidung*) zähle (vgl. Crescenzi/Rodríguez-Pose 2012). In die praktische Wirtschaftspolitik finde die differenzierte Bewertung von Infrastrukturinvestitionen jedoch erst allmählich Eingang (vgl. Moss 2011: 80).

Zumeist losgelöst von wirtschaftswissenschaftlichen Perspektiven liegt der Fokus planungswissenschaftlicher Debatten auf funktionalen Instrumenten und Konzepten der räumlichen Planung technischer Infrastrukturanlagen und -netze, u. a. durch Pläne und Konzepte der örtlichen und überörtlichen ▷ *Raumplanung* und ▷ *Landschaftsplanung* oder durch Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen (vgl. Tietz 2007). Abgesehen davon galten technische Infrastruktursysteme in der raumwissenschaftlichen Debatte als „the forgotten, the background, the frozen in place“ (Star 1999: 379) bzw. als apolitischer Hintergrund der Raumentwicklung (vgl. McFarlane/Rutherford 2008: 364). Sie wurden in der Raumforschung gewissermaßen unsichtbar – sowohl durch ihre physische Verborgenheit im Untergrund als auch durch ihre Zuordnung als Domäne der Ingenieurwissenschaften.

Insbesondere in den internationalen Raumwissenschaften rücken technische Infrastrukturen jedoch seit den 1990er Jahren in den Mittelpunkt interdisziplinärer Debatten. Diese charakterisieren technische Infrastrukturen als konstitutiv für die Konstruktion von Räumen, für die räumliche Verteilung kapitalistischer Produktion und ökonomischen Wachstums, für neue räumliche Ungleichheiten, für die Innen- und Außenbeziehungen von Räumen und für den ökologischen Stoffwechsel von Städten und Regionen. Auch Debatten um die Distanzierung von Raum-Zeit-Beziehungen (Giddens 1984) oder deren Kompression (Harvey 1989) greifen die neuen Zeit- und Raumordnungen durch sozio-technische Beziehungen auf. Wesentliche konzeptionelle Grundlagen der neueren Infrastrukturforschung wurden in der Stadt- und Technikgeschichte entworfen: Hier wurden Entwicklungsphasen der infrastrukturellen Vernetzung des Raums identifiziert (vgl. Tarr/Dupuy 1988; van der Vleuten/Kaijser 2006) oder die Diffusion moderner Techniken und ihre Anpassung an spezifische geographische Kontexte in Form regionaler Technologiestile analysiert (vgl. Hughes 1987; Hård/Misa 2008).

Wichtige Impulse kamen zudem durch die Debatte um die „Netzwerkgesellschaft“, in der ein durch Kommunikations- und Informationstechnologien, Transportsysteme etc. strukturierter „Raum der Ströme“ ein Zusammenschrumpfen der Distanz zwischen Orten bewirke (vgl. Castells 1996). In der Folge komme es zu asymmetrischen Raumstrukturen, in denen die Nähe zu Netzknotenpunkten der Hochgeschwindigkeitsdatenverbindungen, Flughäfen etc. über die

Standortattraktivität entscheide, die weniger attraktiven und rentablen Orte aber von den Hochleistungsinfrastrukturen abgekoppelt seien (vgl. Castells 1996). Infrastrukturelle Verbindungen und Anschlüsse sowie die In- und Exklusion in bzw. von Netzwerken werden so zum Ausdruck des Wandels tradierter Raum- und Zentrenstrukturen.

Graham und Marvin (2001) haben diese These weiterentwickelt und mit ihren Studien zu den städtischen Auswirkungen der \triangleright *Privatisierung* und Liberalisierung der Infrastrukturversorgung eine kontroverse internationale Debatte um die Wechselwirkungen zwischen Raum- und Infrastrukturentwicklung in Gang gesetzt. Im Mittelpunkt dieser Debatte stehen die Fragen, inwieweit die Infrastrukturversorgung mit der Einführung von Wettbewerb und privatwirtschaftlicher Leistungserstellung ihre traditionelle Funktion im Ausgleich räumlicher Disparitäten (\triangleright *Disparitäten, räumliche*) verliert (vgl. Graham/Marvin 2001; Coutard 2008; Moss 2008) bzw. wie sich diese Prozesse mit Trends wie dem demografischen Wandel, veränderten Nutzungsmustern oder der Marktreife alternativer Techniklösungen überlagern und auf diese Weise zu räumlich stark differenzierten Trends der Infrastrukturversorgung führen (vgl. Moss 2011). Ferner haben die Liberalisierung und Privatisierung der Infrastrukturversorgung eine breite Debatte um die Veränderungen von Staatlichkeit und den Wandel vom Leistungs- zum Gewährleistungsstaat ausgelöst, der Aufgaben der Daseinsvorsorge und des Umweltschutzes durch neue Formen der Marktregulierung und planerischen Koordination wahrnehmen müsse (vgl. Grande 2000).

Mittlerweile haben sich die raumwissenschaftlichen Infrastrukturdebatten ausdifferenziert: So werden vermehrt die Funktionen technischer Infrastrukturen hinsichtlich der Steuerung anthropogener Umweltnutzungen oder der Anpassung von Räumen an anthropogene Umweltveränderungen sowie die raumspezifischen Muster sozio-technischen und sozial-ökologischen Wandels aufgegriffen (vgl. Rutherford/Coutard 2014; Monstadt 2009). Inspiriert durch Konzepte der sozialwissenschaftlichen Technik- und Innovationsforschung wird danach gefragt, welche räumlich angepassten Infrastrukturlösungen angemessene Antworten auf Umweltprobleme bieten und wie ein ökologischer Strukturwandel trotz der Pfadabhängigkeit der Systeme über die strategische Förderung „sozio-technischer Nischen“, lokale Experimente oder ein Management von Transitionen angestoßen werden (kann) (vgl. Bulkeley/Castán-Broto/Maassen 2014; Coenen/Truffer 2012). Zunehmenden Einfluss haben diese Debatten auch auf die planungswissenschaftliche Diskussion, deren Fokus sich verstärkt auf die räumlichen Innovationsbedingungen von Infrastrukturen und planerische Ansätze im Innovationsmanagement verschiebt (vgl. Schmidt 2013; Wilts 2016).

Eng mit dieser Debatte verknüpft, werden die wachsende technische Optionenvielfalt sowie Anwendungs- und Marktreife dezentraler, mutmaßlich umweltverträglicherer Infrastrukturlösungen aufgegriffen (vgl. Egyedi/Mehos 2012). Hiermit verbunden sind nicht nur eine starke räumliche Ausdifferenzierung von Infrastrukturlösungen und eine steigende Bedeutung von Nutzern als Koproduzenten von Infrastrukturdienstleistungen. Zugleich sind Infrastrukturunternehmen und öffentliche Verwaltungen vor komplexe Entscheidungen zur raumangepassten Technologiewahl mit weitreichenden Konsequenzen für die Raumentwicklung und -planung gestellt (vgl. Moss 2011). Die hierdurch, aber auch durch neuere Entwicklungen an der Schnittstelle mehrerer Sektoren (z. B. Elektromobilität, Strom- und Wärmegewinnung aus Abwasser) ausgelösten räumlichen Effekte und Planungsbedarfe wurden bislang noch kaum untersucht. Mindestens ebenso hoch ist der raumwissenschaftliche Forschungsbedarf hinsichtlich der sich ausweitenden

informationstechnischen Vernetzung innerhalb und zwischen einzelnen Sektoren durch die Förderung „intelligenter“ Infrastrukturen (z. B. durch Kombination virtueller Kraftwerke, Zählertechniken, Energiespeicher) und den proklamierten Aufbau „intelligenter“, infrastrukturell vernetzter Städte und Regionen (vgl. Luque/McFarlane/Marvin 2014).

Verbunden mit der Schaffung europäischer Binnenmärkte für Infrastrukturdienstleistungen und der zunehmenden technischen Integration der traditionell eher nationalen Infrastruktursysteme gewinnt auch die europäische Regulierungsebene an Aufmerksamkeit (▷ *Europäische Union*). Dies betrifft nicht allein die im Zuge der Liberalisierung der Infrastrukturmärkte diskutierte Europäisierung der Marktregulierung zur Schaffung und sozial-ökologischen Korrektur des Wettbewerbs (vgl. Coen/Héritier 2006) oder Aufgabenfelder der europäischen Struktur- und Kohäsionspolitik (▷ *Europäische Regionalpolitik*), die infolge der aktuellen Austeritätspolitiken durch wachsende räumliche Ungleichgewichte auch in der Infrastrukturversorgung an Brisanz gewinnen. Mit dem Ausbau transeuropäischer Infrastrukturnetze rückt auch die Frage der europäischen Raumplanung (▷ *Europäische Raumentwicklungspolitik*) wieder auf die Agenda (vgl. Marshall 2014).

Dass moderne Gesellschaften mit steigender sozio-technischer Komplexität und Leistungsfähigkeit technischer Infrastrukturen gegenüber dem Ausfall kritischer Infrastrukturen immer verwundbarer werden, findet erst allmählich Eingang in die raumwissenschaftliche Forschung (vgl. Graham 2010). Zwar werden Forderungen nach einer höheren Resilienz (▷ *Resilienz/Robustheit*) von Infrastrukturen und nach effektiven staatlichen Schutzstrategien mittlerweile als wichtiges Handlungsfeld nicht nur der Sicherheits-, sondern auch der Raumentwicklungspolitik diskutiert (vgl. Riegel 2015; BBSR 2012). Die Interkonnektivitätseffekte innerhalb und zwischen Infrastruktursektoren, die im Schadensfall das Risiko von Kaskadeneffekten und regionalen Krisenereignissen bergen (vgl. Little 2002; Kröger/Zio 2011), und die konkreten Anforderungen an räumliche Politik und Planung wurden indes noch kaum untersucht (vgl. Collier/Lakoff 2008).

Auch in der Landschafts- und Städtebauforschung werden technische Infrastrukturen vermehrt aufgegriffen. Im Mittelpunkt stehen die ästhetische Bewertung überlieferter oder neuer Infrastrukturlandschaften, die Konflikte im Hinblick auf das Stadt- und Landschaftsbild, die veränderten Akteurskonstellationen, aber auch gestalterische Perspektiven infrastrukturell überformter (Stadt-)Landschaften (vgl. Gandy 2014; Hauck/Keller/Kleinekort 2011; Gailing/Leibenath 2013).

Insgesamt werden mit der Ausdifferenzierung der raumwissenschaftlichen Infrastrukturforschung übergreifende Begriffsdefinitionen und Funktionszuschreibungen schwierig und Infrastruktur wird je nach Funktionszusammenhang, Betrachtungsperspektive und kulturellem Kontext zunehmend zu einem relationalen Konzept.

5 Ausblick: Räumliche Politik und Planung technischer Infrastrukturen

Nicht nur die raumwissenschaftliche Infrastrukturforschung hat sich im vergangenen Jahrzehnt ausdifferenziert, auch die Aufgaben der räumlichen Infrastrukturpolitik und -planung sind deutlich komplexer und vielfältiger geworden. Stand lange Zeit vor allem der regionale Infrastrukturausbau zur Sicherstellung des technischen Zugangs zu elementaren Infrastrukturdienstleistungen im Zentrum, so sind heute in Deutschland fast alle Teilräume an die zentralen Systeme angeschlossen. Allerdings ergeben sich aus dem steigenden Bedarf nach einem ökologischen Strukturwandel des stark pfadabhängigen Infrastrukturbestands und seiner Anpassung an den Klimawandel neue Anforderungen an einen Systemumbau und ein räumliches Innovationsmanagement. Hinzu kommen die Liberalisierung, Privatisierung und Europäisierung der Infrastrukturwirtschaft, welche die Investitionslogiken und Raumbezüge der Unternehmen ebenso wie die institutionellen Strukturen und Aufgaben staatlicher Politik und Planung verändern. Neue Anforderungen an die Qualität und Flexibilität der Leistungserbringung ergeben sich angesichts veränderter Konsummuster und räumlich differenzierterer Nutzungsformen infolge des demografischen und wirtschaftlichen Strukturwandels. Räumlich ungleich verteilt ist nicht nur die Versorgungsqualität der ÖPNV- und Bahnnetze sowie die Breitbandversorgung ländlicher Räume. Auch in anderen Infrastruktursektoren zeichnet sich gerade in den peripheren Räumen mit geringer Nachfragedichte ein Rückstand bei Instandhaltungs- und Modernisierungsinvestitionen ab (vgl. Naumann/Reichert-Schick 2015). Unterstützt von sich verändernden Lösungsansätzen in den Ingenieurwissenschaften, läutet die wachsende Anwendungs- und Marktreife dezentraler Lösungen eine neue Phase der Infrastrukturversorgung ein. Allerdings werfen die Systemintegration dezentraler Lösungen, ihre Flächenintensität und Raumverträglichkeit, aber auch die steigenden Anforderungen an den Schutz vor Infrastrukturausfällen neue, bislang ungelöste Probleme auf.

Aus diesem vielschichtigen Wandel ergeben sich gänzlich neue Anforderungen an die individuellen Infrastrukturfachpolitiken und -planungen. Dabei wurde bislang jedoch wenig wissenschaftlich diskutiert und von der Planungspraxis beachtet, dass vielfältige stoffliche, technische, ökonomische und regulatorische Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Infrastruktursektoren existieren und dass der Wandel in den einzelnen Sektoren in seinem Zusammenwirken umfangreiche kumulative Effekte auf die Raumentwicklung hat. Erforderlich werden daher nicht nur eine verbesserte Abstimmung der (institutionell stark fragmentierten) Infrastrukturfachplanungen und eine höhere Sensibilität für die Raumwirkungen technischer Infrastrukturen und ihre räumlichen Voraussetzungen. Mindestens ebenso wichtig erscheint es, technische Infrastrukturen nicht nur als Gegenstand einer zeitlich nachgeordneten Ingenieursplanung zu begreifen, sondern infrastrukturelle Belange frühzeitiger und umfassender auch in den Prozessen und Plänen der Raumplanung zu berücksichtigen.

Literatur

- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.) (2012): Raumordnungsbericht 2011. Bonn.
- Beckmann, K. J. (1988): Vom Umgang mit dem Alltäglichen – Aufgaben und Probleme der Infrastrukturplanung. Antrittsvorlesung am 30. Januar 1987. Karlsruhe. = Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung 21.
- Bijker, W. (1995): Of bicycles, bakelites, and bulbs: Toward a theory of sociotechnical change. Cambridge, MA.
- Bulkeley, H.; Castán Broto, V.; Maassen, A. (2014): Low-carbon transitions and the reconfiguration of urban infrastructure. In: *Urban Studies* 51 (7), 1471-1486.
- Castells, M. (1996): The information age: Economy, society, and Culture. Volume 1: The rise of the network society. Oxford / Malden, MA.
- Coen, D.; Héritier, A. (eds.) (2006): Refining regulatory regimes: Utilities in Europe. Cheltenham / Northampton.
- Coenen, L.; Truffer, B. (2012): Places and spaces of sustainability transitions: Geographical contributions to an emerging research and policy field. In: *European Planning Studies* 20 (3), 367-374.
- Collier, S. J.; Lakoff, A. (2008): Distributed preparedness: The spatial logic of domestic security in the United States. In: *Environment and Planning* 26 (1), 7-28.
- Coutard, O. (2008): Placing splintering urbanism: Introduction. In: *Geoforum* 39 (6), 1815-1820.
- Crescenzi, R.; Rodríguez-Pose, A. (2012): Infrastructure and regional growth in the European Union. In: *Papers in Regional Science* 91 (3), 487-513.
- Dolata, U.; Werle, R. (2007): „Bringing technology back in“: Technik als Einflussfaktor sozioökonomischen und institutionellen Wandels. In: Dolata, U.; Werle, R. (Hrsg.): *Gesellschaft und die Macht der Technik: Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung*. Frankfurt am Main / New York, 15-43.
- Egyedi, T. M.; Mehos, D. C. (Hrsg.) (2012): *Inverse infrastructures: Disrupting networks from below*. Cheltenham.
- Frey, R. L. (1972): *Infrastruktur: Grundlagen der Planung öffentlicher Investitionen*. Tübingen / Zürich.
- Frey, R. L. (2005): *Infrastruktur*. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Raumordnung*. Hannover, 469-475.
- Gailing, L.; Leibenath, M. (Hrsg.) (2013): *Neue Energielandschaften – Neue Perspektiven der Landschaftsforschung*. Wiesbaden.
- Gandy, M. (2014): *The fabric of space: Water, modernity, and the urban imagination*. Cambridge, MA / London.

- Geels, F. W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case study. In: *Research Policy* 31 (8/9), 1257-1274.
- Giddens, A. (1984): *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*, Cambridge, MA.
- Graham, S. (ed.) (2010): *Disrupted cities: When infrastructure fails*. New York.
- Graham, S.; Marvin, S. (2001): *Splintering urbanism: Networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*. London / New York.
- Grande, E. (2000): Der Aufstieg des Regulierungsstaats im Infrastrukturbereich: Zur Transformation der Politischen Ökonomie der Bundesrepublik Deutschland. In: Czada, R.; Wollmann, H. (Hrsg.): *Von der Bonner zur Berliner Republik? Opladen*, 631-650.
- Hård, M.; Misa, T. J. (2008): Modernizing European cities: Technological uniformity and cultural distinction. In: Hård, M.; Misa, T. J. (Hrsg.): *Urban machinery: Inside modern European cities*. Cambridge, MA / London, 1-20.
- Harvey, D. (1989): From managerialism to entrepreneurialism: The transformation in urban governance in late capitalism. In: *Geographiska Annaler* 71 (1), 3-17.
- Hauck, T.; Keller, R.; Kleinekort, V. (2011): *Infrastructural urbanism: Addressing the in-between*. Berlin.
- Hommels, A. (2005): Studying obduracy in the city: Toward a productive fusion between technology studies and urban studies. In: *Science, Technology and Human Values* 30 (3), 323-351.
- Hughes, T. P. (1987): The evolution of large technical systems. In: Bijker, W. E.; Hughes, T. P.; Pinch, T. (Hrsg.): *The social construction of large technological systems*. Cambridge, MA, 51-82.
- Jochimsen, R. (1966): *Theorie der Infrastruktur: Grundlagen der marktwirtschaftlichen Entwicklung*. Kiel / Tübingen.
- Kaika, M.; Swyngedouw, E. (2000): Fetishizing the modern city: The phantasmagoria of urban technological networks. In: *International Journal of Urban and Regional Research* 24 (1), 120-138.
- Kröger, W.; Zio, E. (2011): *Vulnerable systems*. London.
- Little, R. G. (2002): Controlling cascading failure: Understanding the vulnerabilities of interconnected infrastructures. In: *Journal of Urban Technology* 9 (1), 109-123.
- Luque, A.; McFarlane, C.; Marvin, S. (2014): Smart urbanism: Cities, grids and alternatives? In: Hodson, M.; Marvin, S. (eds.): *After sustainable cities*. Abingdon, 74-89.
- Marshall, T. (2014): The European Union and major infrastructure policies: The reforms of the Trans-European Networks Programmes and the implications for spatial planning. In: *European Planning Studies* 22 (7), 1484-1506.
- McFarlane, C.; Rutherford, J. (2008): Political infrastructures: Governing and experiencing the fabric of the city. In: *International Journal of Urban and Regional Research* 32 (2), 363-374.
- Monstadt, J. (2009): Conceptualizing the political ecology of urban infrastructures: Insights from technology and urban studies. In: *Environment and Planning A* 41 (8), 1924-1942.

- Monstadt, J.; Wolff, A. (2015): Energy transition or incremental change? Green policy agendas and the adaptability of the urban energy regime in Los Angeles. In: *Energy Policy* 78 (March 2015), 213-224.
- Moss, T. (2008): 'Cold spots' of urban infrastructure: 'Shrinking' processes in eastern Germany and the modern infrastructural ideal. In: *International Journal of Urban and Regional Research* 32 (2), 436-451.
- Moss, T. (2011): Planung technischer Infrastruktur für die Raumentwicklung: Ansprüche und Herausforderungen in Deutschland. In: Tietz, H.-P.; Hühner, T. (Hrsg.): *Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung – Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme*. Hannover, 73-94. = Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL 235.
- Naumann, M.; Reichert-Schick, A. (2015): Ländliche Infrastrukturen – Risiken, Anpassungserfordernisse und Handlungsoptionen. In: *Raumforschung und Raumordnung* 73 (1), 1-3.
- Neuman, M. (2006): Infiltrating infrastructures: On the nature of networked infrastructure. In: *Journal of Urban Technology* 13 (1), 3-31.
- Prätorius, G. (2004): Infrastrukturpolitik. In: Ziegler, A.; Gerlach, F. (Hrsg.): *Neuere Herausforderungen der Strukturpolitik*. Marburg, 238-256.
- Riegel, C. (2015): Die Berücksichtigung des Schutzes Kritischer Infrastrukturen in der Raumplanung. Zum Stellenwert des KRITIS-Grundsatzes im Raumordnungsgesetz. Dissertation an der RWTH Aachen. Aachen. = Berichte des Instituts für Stadtbauwesen und Stadtverkehr der RWTH Aachen 59.
- Rutherford, J.; Coutard, O. (2014): Urban energy transitions: Places, processes and politics of socio-technical change. In: *Urban Studies* 51 (7), 1353-1377.
- Schmidt, M. (2013): Regional Governance und Infrastruktur – Kooperationen in der Wasserver- und Abwasserentsorgung am Beispiel der Stadtregionen Frankfurt/Main, Berlin und Ruhr. Detmold.
- Star, S. L. (1999): The ethnography of infrastructure. In: *American Behavioral Scientist* 43 (3), 377-391.
- Tarr, J. A.; Dupuy, G. (eds.) (1988): *Technology and the rise of the networked city in Europe and America*. Philadelphia.
- Tietz, H.-P. (2007): *Systeme der Ver- und Entsorgung: Funktionen und räumliche Strukturen*. Wiesbaden.
- van der Vleuten, E.; Kaijser, A. (eds.) (2006): *Networking Europe: Transnational infrastructures and the shaping of Europe*. Sagamore Beach, 1850-2000.
- van Laak, D. (2001): Infra-Strukturgeschichte. In: *Geschichte und Gesellschaft* 27 (3), 367-393.
- Wilts, H. (2016): Nachhaltige Innovationsprozesse in der kommunalen Abfallwirtschaftspolitik – eine vergleichende Analyse zum Transition Management städtischer Infrastrukturen in deutschen Metropolregionen. München.

Weiterführende Literatur

- Coutard, O.; Rutherford, J. (eds.) (2015): Beyond the networked city: Infrastructure reconfigurations and urban change in the north and south. London / New York.
- Graham, S.; McFarlane, C. (eds.) (2014): Infrastructural lives: Urban infrastructure in context. London.
- Jonsson, D. K. (2005): The nature of infrasystem services. In: Journal of Infrastructure Systems 11 (1), 2-8.
- Neuman, M.; Smith, S. (2010): City planning and infrastructure: Once and future partners. In: Journal of Planning History 9 (1), 21-42.
- Mayntz, R. (2009): The changing governance of large technical infrastructure systems. In: Mayntz, R. (Hrsg.): Über Governance: Institutionen und Prozesse politischer Regelung. Frankfurt am Main / New York, 121-150.
- Tietz, H.-P.; Hühner, T. (Hrsg.): Zukunftsfähige Infrastruktur und Raumentwicklung – Handlungserfordernisse für Ver- und Entsorgungssysteme. Hannover, 73-94. = Forschungs- und Sitzungsberichte der ARL 235.

Bearbeitungsstand: 12/2016