

Das Netz hat Geschichte:

Historisch-technische Analyse der kritischen Infrastrukturen in der Region Rhein/Main

Jonas Franken ¹, Marco Zivkovic², Nadja Thiessen ³, Jens Ivo Engels ⁴ und Christian Reuter ⁵

Abstract: Kritische Infrastrukturen sind häufig über Jahrzehnte gewachsene, komplexe Netze. Dennoch fehlt derzeit die historische Perspektive auf die Aufschichtungstendenzen von Technologien in den Sektoren, die für die Gesellschaft essenzielle Dienste bereitstellen. Ein besseres Verständnis von Ausbreitungs-, Ausbau-, Ersatz- und Ausmusterungsprozessen kann Entscheidungshilfe und Orientierung für resilientere Versorgungsnetzarchitekturen in der Zukunft geben. Kompatibilitätsprobleme mit Legacy-Soft- und Hardware sind bekannte Phänomene in vielen KRITIS-Einrichtungen. Entsprechend gewinnen Wissens- und Erfahrungstransfers bei zunehmend komplexen, dennoch über Jahrzehnte verwendete Technologien in landwirtschaftlichen Betrieben enorm an Bedeutung. Der Beitrag vollzieht die Konzeption und Fragestellungen eines interdisziplinären Forschungsprojekts nach, in welchem die Verwundbarkeit der kritischen Infrastruktursektoren Verkehr und Kommunikation im Rhein-Main-Gebiet analysiert wird. Von den Leistungen beider Sektoren hängt die digitale Landwirtschaft stark ab. Insbesondere rurale, beim digitalen und Schienennetausbau häufig vernachlässigte Gebiete werden dabei mittels explorativer Interviewstudie und anschließender archivbasierter, quantitativer Überprüfung der zuvor generierten Hypothesen aus einer raum-zeitlichen und technischen Perspektive untersucht.

Keywords: Infrastrukturelle Abhängigkeiten, Wissenstransfer in KRITIS, Vulnerabilitätsanalyse

1 Einleitung

Wohl kaum eine Infrastruktur gilt moderner als IT und elektronische Kommunikationssysteme [La18]. Dennoch hat Deutschland den Anschluss an die digitale Moderne wegen

¹ Technische Universität Darmstadt, Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), Pankratiusstraße 2, 64289 Darmstadt, franken@peasec.tu-darmstadt.de,  <https://orcid.org/0000-0003-0650-0308>

² Technische Universität Darmstadt, Neuere und Neueste Geschichte, Residenzschloss 1, 64283 Darmstadt, zivkovic@pg.tu-darmstadt.de

³ Technische Universität Darmstadt, Neuere und Neueste Geschichte, Residenzschloss 1,

64283 Darmstadt, nadja.thiessen@tu-darmstadt.de,  <https://orcid.org/0000-0002-9916-7112>

⁴ Technische Universität Darmstadt, Neuere und Neueste Geschichte, Residenzschloss 1,

64283 Darmstadt, jens_ivo_engels@tu-darmstadt.de,  <https://orcid.org/0000-0002-8680-1882>

⁵ Technische Universität Darmstadt, Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC), Pankratiusstraße 2, 64289 Darmstadt, reuter@peasec.tu-darmstadt.de,  <https://orcid.org/0000-0003-1920-038X>

des lückenhaften Ausbaus der Digitalisierung in der Fläche bislang nicht vollendet. Die Nutzung von Faxgeräten in Gesundheitsämtern in der COVID-19 Krise ist nur eines von vielen öffentlich skandalisierten Beispielen, in denen die Verheißungen zukunftsgestaltender Digitalität den Einschränkungen durch ‚alte Technik‘ gegenübergestellt wurden [KG20]. Bei genauerem Hinsehen erweist sich dieses Bild vereinfacht, denn auch digitale Kommunikationsmittel haben eine Geschichte. Mit der Betrachtung dieser Geschichte, so unsere Annahme, lassen sich bestehende Probleme, insbesondere in denjenigen Gebieten, die schwächerer angebunden sind, besser verstehen und Optimierungen zielgerichteter umsetzen.

Die Ursprünge der Digitalisierung gehen in Deutschland bis auf die 1960er Jahre zurück. Vor allem in ländlichen Regionen basieren Internetanschlüsse bis heute auf historischen Telefonkabeln aus Kupfer [La18]. Auch Softwares können aufgrund der ständigen Updates als Schichtmodelle verstanden werden, in denen laufend neue Komponenten implementiert werden [SB06]. In ihren Grundstrukturen reichen sie oft Jahrzehnte zurück, wie etwa in der Software der deutschen Bankhäuser die Programmiersprache COBOL seit den 1980er Jahren [We19]. Allerdings wirken die Auswirkungen historischer Strukturen noch weiter in die Vergangenheit zurück und überschreiten die Grenzen zwischen Infrastruktursektoren. Die Historizität von Infrastrukturen hat enorme Auswirkungen auf ihre aktuelle Gestalt und auf ihre künftige Entwicklung. Die Vulnerabilität von Infrastrukturen ist entsprechend stark von historischen Entwicklungen geprägt. Immer dort, wo technische Komponenten unterschiedlichen Alters miteinander verbunden sind, bestehen technische Risiken durch fehlerhafte Konfiguration und die Notwendigkeit von Kompatibilität. Die räumliche Ausdehnung der Netzwerke aufgrund historischer Strukturen reproduziert außerdem potenziell ungleiche Vulnerabilitätsniveaus, welche bei Ausfällen, die auch durch bewusste Angriffe entstehen können, zutage treten. In Kontexten, in denen Anbindung ans Internet zur Norm wird, sind Gruppen bereits dann benachteiligt, wenn sie höheren Ausfallrisiken ihrer Kommunikation ausgesetzt sind [St06]. Wird beispielsweise Konnektivität fundamental für die smarte, digitalisierte Landwirtschaft zunehmend vorausgesetzt, müssen die oftmals gering versorgten Regionen besser angebunden sein, um ihre Produktion aufrechtzuerhalten. Entscheidungen in Investitions-, Planungs- und Ausbauphasen von Infrastrukturen sollten daher mit historischem Wissen und auch im Hinblick auf Exklusions- und Ausfallszenarien getroffen werden.

Ausgangspunkt unserer Überlegungen ist die Annahme, dass Betreiberfirmen und technische Praktiker:innen über umfassendes, aber *implizites* Wissen über das Alter ihrer Systeme und die damit verbundenen Vulnerabilitäten verfügen. Damit ist Folgendes gemeint: Praktiker:innen wissen oft sehr genau, mit welchen technischen Komponenten sie es in ihren Systemen zu tun haben, welche technischen Standards verbaut sind, welche Formen von Schäden wann zu erwarten sind. Was jedoch in der Regel fehlt, ist 1. ein modellhaftes Verständnis für die über Zeit und Raum hinweg zustande gekommene Komplexität des Ist-Zustandes, 2. ein Verständnis dafür, aufgrund welcher sozialen, politischen, technologischen Kontexte die in der Vergangenheit getroffenen Entscheidungen zustande gekommen sind, wozu 3. insbesondere sektorenübergreifende Zusammenhänge gehören (hier: zwischen IKT-, Verkehrsinfrastruktur und der Landwirtschaft). Mit anderen Worten: Das

vorhandene Wissen wird nicht explizit als historisches reflektiert und sein Transfer nicht koordiniert angeleitet.

Im Kern wollen wir damit einerseits das implizite Wissen um historisch bedingte Vulnerabilität bei Infrastruktur-Praktiker:innen untersuchen. Andererseits stellen wir diesem die Befunde empirisch-quantitativer Analyse entgegen: Wir analysieren die ‚tatsächliche‘ Gestalt der Infrastrukturen hinsichtlich ihrer historisch-räumlichen Genese und wenden dabei Methoden der Netzwerkanalyse und der historischen Infrastrukturforschung an. So können Wege aufgezeigt werden, Wissen über historische Zusammenhänge, Pfadabhängigkeiten und Strukturen für die künftige Entwicklung resilienter Infrastrukturen nutzbar zu machen. Wir fokussieren uns auf die Rhein-Main-Region, da hier eine hohe Dichte von technischen Infrastrukturen und sowohl urbane Zentren (Frankfurt am Main, Darmstadt) als auch große ländliche Räume (Odenwald, Taunus, Wetterau) gegeben sind. Aufgrund der Vielseitigkeit der Untersuchungsregion erhoffen wir uns generalisierbare Ergebnisse für den gesamtdeutschen Kontext, wo ebenfalls groß Stadt-Land-Kluffen prägend für den Infrastrukturausbau sind.

Zudem konzentrieren wir uns auf die beiden Sektoren Kommunikation und Verkehr als wichtige Upstream-Sektoren [Ku22]. Das initiale Interesse gilt der IKT-Infrastruktur. Wir gehen davon aus, dass die historischen Strukturen der aktuellen Kommunikationsnetze nicht ohne Betrachtung der - meist älteren - Verkehrsnetze verständlich sind. Insbesondere die klassischen Verkehrsinfrastrukturen beeinflussen mit ihrem Trassenverlauf den Verlauf von Kommunikationsinfrastrukturen. Internetkabel sind bspw. oft nahe Straßen und Gleisen verlegt [LKZ16, Un18]. Ländliche Regionen mit einem losen Schienennetz tendieren entsprechend dazu, weniger redundant an das Internet angebunden zu sein.

Unser interdisziplinär geprägtes Vorgehen kombiniert technik- und geschichtswissenschaftliches Wissen und Erfahrung, sowie dazugehörige Theorien und Methoden. Im Forschungsprozess bieten sich viele Möglichkeiten, die Grenzen der Disziplinen und Felder zu überwinden und daraus Lehren für Kollaboration in der technischen Friedens- und Sicherheitsforschung abzuleiten. In einer Metabetrachtung der Digital-Divide-Forschung stellte van Dijk [Di18] kürzlich fest: „*The theory of the digital divide needs to be multidisciplinary and preferably interdisciplinary*“. Entsprechend setzt das Vorhaben seine Interdisziplinarität nicht als Option, sondern als neuen Standard für hochwertige Forschung im Themenfeld der IKT-Infrastrukturen voraus. Mit dem Fokus auf Vulnerabilität von KRITIS, insbesondere in Ausfallszenarien, knüpfen wir auch inhaltlich an Betrachtungen benachteiligter, eher landwirtschaftlich geprägter Regionen [RSE19]. Denn Konflikte, Kriege und Naturkatastrophen bilden einen Kontext von großflächigen KRITIS-Ausfällen und daraus folgender Verschlechterung der Bereitstellung essenzieller Güter (insb. Nahrungsmittel), wie der Krieg in der Ukraine und die Starkregenereignisse im Westen Deutschlands 2021 jüngst verdeutlichten.

2 Forschungsstand

Trotz einer in den letzten Jahren boomenden historischen Infrastrukturforschung gibt es so gut wie keine Versuche, geschichtswissenschaftliche Perspektiven für die aktuelle Infrastrukturentwicklung nutzbar zu machen. Uns sind insbesondere keine Studien bekannt, die das oben skizzierte implizite historische Wissen von Betreiber:innen überhaupt exploriert hätten. Es gibt zwar seit rund 20 Jahren ethnologische Arbeiten über Wissen und Praktiken von Infrastrukturbetreiber:innen, beispielsweise in Kontrollräumen und Lagezentren [LM16], doch geht es hier nicht um historische Aspekte. Am nächsten kommen unserem Ansatz die Studien von Timothy Moss, der aber im Wesentlichen archivbasiert arbeitet [Mo20]. Gleichwohl gibt es eine Vielzahl an Forschungssträngen, auf denen unsere Forschung aufbaut bzw. an die sie anknüpft:

Bereits in den 1960er Jahren wurde festgestellt, dass der Zugang zu Kommunikation ein zentraler Faktor für die Entwicklungsmöglichkeiten von Individuen und Gruppen ist [Ke67]. Mit der Proliferation des Internets Anfang der 1990er Jahre und der zunehmenden Digitalisierung des Alltags (Privatkommunikation, Handel, Produktion, eGovernment, etc.) wurde die Theorie des „*Digital Divides*“ als Rahmen entworfen, um soziale Ursachen und Folgen der Digitalisierung systematisch zu analysieren [Wa01]. Deren Erforschung gliedert van Dijk in drei Phasen [Di18]: In der ersten Phase wurden allein die physischen Anbindungen an Infrastrukturen, die Konnektivität ermöglichen, und die daraus erwachsenen Möglichkeiten analysiert. Zugang wurde in dieser ursprünglichen Phase als binäre abhängige Variable wahrgenommen, differenzierte in der zweiten Phase zunehmend aus, indem um soziale und demographische Faktoren, die die Nutzung von Onlinetechnologien bedingen, unter dem multikausalen Konzept der „*Internet literacy*“ einbezogen wurden [RD05]. In der dritten Phase erreichte die Forschung jüngst die Reife, die die Anwendung der Digitalen Kluft als unabhängige Co-Variable für die Analyse anderer Phänomene ermöglichte, beispielsweise die Wirtschaftskraft eines Staates oder die Spaltung einer Gesellschaft [Di18].

Der von uns verfolgte Fokus auf die (daten-)transportierenden Infrastrukturen knüpft folglich primär an die erste Phase der Digital-Divide-Forschung an. Ungleichheiten der Resilienz besitzen weiterhin eine hohe Bedeutung, was jüngst Studien zu Internet-Infrastrukturen nachweisen [Fr22, Th19]. Die Forschungslandschaft der Digitalen Kluft zeichnen sich dabei durch eine hohe Variation der Analyseebenen aus. Während der häufigste Fall nationale Einzelfallstudien sind [Kh12, NIS17, RH17, ST16], existieren ebenfalls einige makroregionale [Ca19, FH08, MKH21, SKS21, Sz18] und globale [ACL10, CW04, COB18, Fr22, RC10] Analysen. Gleichwohl tritt neben die räumliche Betrachtung von Infrastrukturen die historische Komponente, wodurch Effekte technischer Aufsichtung der Infrastrukturen abgeleitet werden können. Zwar existieren ebenfalls einige Werke zur zeitlichen Entwicklung der IKT-Infrastrukturen [Ki96, Ma02, Sa13]. Diese gehen wiederum selten auf die räumlichen Aspekte der Ausbreitung und den dahinterliegenden Motivationen und Pfadabhängigkeiten von Entscheidungsträger:innen ein. Wir wollen damit die Forschungslücke der historisch-technischen Betrachtungen zweier KRITIS, deren

Verhältnis sich im Laufe durch einen Wechsel von gegenseitiger Abhängigkeit zur vermeintlichen technischen Entkopplung ausgezeichnet hat, adressieren. Als Motivation fungieren die heutigen Interaktionen von KRITIS-Sektoren sowie die gegenseitige Gefährdung der Strukturen aber auch die Chancen der räumlichen Nähe. Somit kann die Analyse zur Debatte der abnehmenden Wichtigkeit von Distanzen beitragen, die bereits 1996 von Couclelis [Co96: p. 388] mit Blick auf das Internet zusammengefasst wurde: „*Distance is not dead, but its significance and effects on the geographies of the information society have become a lot more complex and subtle.*“

3 Konzeption

Demnach stellt sich die Frage, wie eine Analyse vorgenommen werden kann, die historisches, meist implizites Wissen mit zeitlich-räumlicher Ausbau- und Aufschichtungstendenzen kombiniert. Die beiden Infrastrukturen Verkehr und IKT sind als komplexe Netze entworfen, die auf mehreren Ebenen und mittels mehrerer parallel existierenden Strukturen die Güter und Personen bzw. Daten transportieren. Die offensichtlichen Unterschiede im Hinblick auf Transportgeschwindigkeit, Anzahl paralleler Netzstrukturen und deren alltäglicher Sichtbarkeit können im gemeinsamen Analyserahmen der interdisziplinären KRITIS-Forschung überwunden werden. Um die Historizität technischer Infrastruktur konzeptionell zu fassen, gehen wir vom Modell der Zeitschichten aus, worin sich im Verlauf der Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte in den Infrastruktursystemen immer neue Komponenten ‚anreichern‘ und sedimentieren. Das Modell der Zeitschichten wurde für die historische Forschung erstmals von Koselleck entworfen [Ko00]. Es ist in der historischen Technikforschung aufgegriffen und weiterentwickelt worden [We19, En20]. Die Zeitschichten kann man in der Gegenwart identifizieren und nach ihrer jeweiligen zeitlichen Herkunft bestimmen. Im Ergebnis entsteht das Bild eines heterogenen, aber integrierten Systems. Wie bereits dargelegt interessieren uns vor allem heterogene technische Komponenten und gewachsene Trassenstrukturen. Die Vereinigung von historischen und technischen Methoden ermöglicht eine abstrahierte Betrachtung der Sektoren und ihrer Versorgungsrollen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Bereits bestehende methodische Überschneidungen können dabei einen gegenseitigen Mehrwert schaffen.

4 Fragestellungen und Diskussion des Vorgehens

Aus den obigen Vorüberlegungen haben wir folgende Fragen für den ersten Teil empirischen Teil herausgearbeitet:

- Welches Wissen über das Alter einzelner Komponenten im jeweiligen Infrastrukturnetz ist vorhanden? Wird dieses Wissen in Verbindung mit Vulnerabilitätsfaktoren gebracht?

- Gibt es Strategien im Umgang mit zeitlich heterogenen Komponenten? Wie hoch wird die räumliche Nähe von IKT- und Verkehrsinfrastrukturen eingeschätzt und welche Gefahren und Chancen können aus ihr entstehen?
- Wird historisches Wissen in Planungen von Infrastrukturen einbezogen?
- Gibt es Pfadabhängigkeiten bei Entscheidungen und wie können diese aufgebrochen werden?
- Welche Rolle spielt die Geschichte für die Gestaltung der Zukunft?

Zur Beantwortung dieser Unterfragen dient eine Interviewstudie mit Betreiber:innen, Eigentümer:innen, Planer:innen, Auftraggeber:innen, Regulator:innen und weiterer Expert:innen beider Infrastruktursektoren als erster empirische Schritt. Beim selektiven Sampling wird auf eine Ausgewogenheit der mindestens 20 Interviews im Hinblick auf die beiden Sektoren, die Betriebsgrößen (mittelständische und große Unternehmen), Planungs- und Betriebsebene, sowie die ausgeglichene Verortung in urbanen Ballungszentren bzw. ruralen Räumen als Referenzen geachtet. Für das Sample wird zunächst mittels Onlinerecherche ein Pool potenzieller Interviewees gebildet, die den o.g. Profilen entsprechen. An Personen dieses Pools werden in mehrstufigen Verfahren Interviewanfragen geschickt, um Unausgewogenheit der Antwortraten vorheriger Akquiserunden auszugleichen. Diese Kaltakquise wird durch eine Schneeballmethodik mittels einer Anfrage um weitere Kontaktvermittlung am Ende des Leitfadens ergänzt, um auszuschließen, dass „Schlüsselakteure“ [Dö21] der Sektoren übersehen werden. Da in Teilbereichen beider Infrastruktursektoren teils große Akteure (z.B. DB, Telekom) dominieren können, wollen wir nicht ausschließen, mehrere Personen derselben (Dach-)Organisation zu interviewen. Wir orientieren uns explizit nicht an den zugegebenermaßen willkürlichen Grenzen der KRITIS-Verordnungen, um auch kleinere in den Sektoren tätige Akteure in die Untersuchung mitaufzunehmen zu können [ST22].

Methodisch erfolgt auch hier eine enge Kombination beider Disziplinen. Die Teilfragen sollen durch offene, theoriegenerierende Interviews [BM09, Kü19, Po18] beantwortet werden. Von historischer Seite geht es hier um eine Art ‚Oral History‘ des impliziten Wissens um das, was wir konzeptionell als Zeitschichten auffassen. Auf technischer Seite wird der gegenwärtige Zustand und die Vulnerabilität beider KRITIS Sektoren erfragt. Durch die Auswahl von Expert:innen als Sample nehmen wir bewusst von der klassischen Oral History-Methodik ab, die üblicherweise einen expliziten Fokus auf Bevölkerungsteile legt, deren Geschichte aus strukturellen Gründen geringer dokumentiert wird. Da wir diese Gefahr bei Betreiberunternehmen niedriger einschätzen, werden semi-strukturierte Leitfadeninterviews gewählt, die weiterhin genügend Freiraum für explorative und problemorientierte Nachfragen ermöglichen, ohne zu zeitaufwändig zu sein [Dö21].

Die Ergebnisse der Interviewstudie können durchaus für den deutschen Kontext generalisiert werden; zum einen aufgrund der Diversität der Bevölkerungsdichte der Rhein-Main-Region und zum anderen, weil zumindest ein Teil der interviewten Akteur:innen auch national bzw. in weiteren Regionen tätig sind. Bisher durchgeführte Interviews sind in dieser Hinsicht bereits vielversprechend. Als Zwischenergebnis können aus der Interviewstudie Hypothesen abgeleitet werden, die im weiteren Verlauf quantitativ und qualitativ

überprüft werden. Alle folgenden Arbeitspakete bleiben demnach thematisch offen, um flexibel ggf. unerwartete Hypothesen diesem Schritt in die Analyse aufnehmen zu können.

Im nächsten Schritt sollen die Hypothesen per Regionalstudie mittels quantitativer Netzwerkanalysen überprüft werden. Dort kann geprüft werden, wie stark sich der Ausbau und die Dichte der IKT- und Verkehrsnetze ähneln und entwickelt hat. Die Betrachtung verschiedener Technologien, ihrer Proliferations- und ggf. Stilllegungsentwicklungen erfordert den Zugang zu Archivquellen für (zeit-)geschichtliche Daten, die eine temporale Netzwerkanalyse ermöglichen [Sa22], die die folgenden Fragen beantworten kann:

- Wie haben sich aufkommende IKT- und Verkehrsinfrastrukturen über Zeitschichten räumlich verbreitet?
- Wie stark korrelieren physische IKT- mit Verkehrsinfrastrukturen im Rhein-Main Gebiet miteinander?

Auf Grundlage einer archivbasierten Studie (Planungsunterlagen, Betriebsunterlagen, historische Karten) wird für ausgewählte Beispiele eine historisch fundierte Darstellung der Zeitschichten der jeweiligen Infrastruktur vorgenommen.⁶ Auf dieser Basis wiederum wird der Detailgrad und die Akkuratessse des impliziten historischen Wissens aus den Interviews überprüft und bewertet. Entsprechend kann abgeschätzt werden, inwieweit das Wissen über Vulnerabilitäten umfassend oder lückenhaft ist. Die zweite Frage wird durch eine vergleichenden Netzwerkanalyse beantwortet, womit strukturelle Ähnlichkeiten und Unterschiede von Graphen, die in diesem Fall technische Netzinfrastrukturen modellieren, identifiziert werden [Ta19, Su18]. Während wir in der Interviewstudie offenlassen, welche konkreten Infrastrukturen und Technologien von den Teilnehmenden erwähnt werden, werden wir uns aus Ressourcengründen bei der Hypothesenprüfung mittels Netzwerkanalysen einerseits auf den Kabelnetzaufbau (Kupfer und Glasfaser) fokussieren, weil es die zentrale Infrastruktur für den Datenverkehr ist. Andererseits werden wir uns im Verkehrssektor auf das Schienennetz konzentrieren, da hier bereits historische Datensätze zumindest in Ansätzen vorhanden sind. Innerhalb dieser Infrastrukturen sehen wir bislang die Güte der Archivbasis als den einzigen limitierenden Faktor. Spätere Untersuchungen können allerdings auch nachträglich um das für die Landwirtschaft besonders wichtige Straßenverkehrsnetz ergänzt werden.

Durch die Kombination von Archivstudie und quantitativer Netzwerkanalyse wird ermittelt, in welcher historischen Phase sich die heute feststellbaren Strukturen ausbildeten und ggf. verfestigten bzw. dynamisierten, also welche historischen Ursachen z.B. für bestimmte Vulnerabilitäten festzustellen sind. Die beiden Netzwerkanalysedimensionen – temporal und vergleichend – sind Ansätze, die nach unserem Wissen bislang nicht

⁶ Grundlage für die historische Überprüfung, inkl. der historischen Netzwerkanalyse, sind Dokumente von Betreibern und Behörden, z.B. das Bundesarchiv Koblenz: BMV, Eisenbahnbundesamt, Bundesanstalt für Post und Telekommunikation sowie Fernmeldetechnisches Zentralamt, das Hessische Hauptstaatsarchiv: Bundesbahn- und Oberpostdirektion Frankfurt das Hessische Staatsarchiv Darmstadt: Straßenbauämter, das Institut für Stadtgeschichte Frankfurt: Verkehrswesen und Post sowie das Frankfurter Wirtschaftsarchiv: Sammlungen zum Verkehrsverbund und Informationstechnologie.

kombiniert wurden. Ein Ziel der quantitativen Empirie wird daher sein, die Machbarkeit einer kombinierten Netzwerkanalyse zu erörtern, durch die Vulnerabilität in unterschiedlichen Netzwerkstrukturen und Zeitschichten quantifiziert werden könnten. Da sich die Datenbasis der Netzstrukturen spezifisch auf die Rhein-Main Region bezieht, sind die Schlussfolgerungen nur bedingt auf andere Regionen bzw. national übertragbar und können allenfalls Hypothesen für weitere Untersuchungskontexte anbieten. Der methodische Ansatz hingegen kann bei Erfolg auch auf weitere zeit-räumliche Infrastrukturentwicklungen weiterer Kontexte und Sektoren übertragen werden, wovon die quantitative Infrastrukturforschung insgesamt einen Nutzen hat.

Die von beiden untersuchten Sektoren abhängige Landwirtschaft kann von den Ergebnissen unserer Untersuchung gleich mehrfach profitieren. Zum einen werden wir Methoden zur Identifikation vulnerabler Gebiete erarbeiten, wodurch die Priorisierung von ruralen Kontexten beim resilienzfördernden Infrastrukturausbau begründen kann [Re22]. Zum anderen ist durch die häufig lange Nutzung von Technologien die Landwirtschaft ein Feld, in dem Wissenstransfer zur Aufschichtung und Kompatibilität mit fortschreitender Digitalisierung des Sektors eine zunehmend zentrale Rolle spielen werden. Entsprechende Erkenntnisse aus anderen KRITIS-Sektoren haben sicherlich auch für die Agrarwirtschaft einen Mehrwert.

Danksagung

NetzGeschichte wird durch die IANUS-Förderlinie des Forums interdisziplinäre Forschung (FiF) an der Technischen Universität Darmstadt gefördert. Diese Arbeit wurde zudem teilweise durch die LOEWE Initiative des Landes Hessen im Rahmen des LOEWE-Zentrums emergenCITY und aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank im Rahmen des Projekts AgriRegio gefördert.

Literaturverzeichnis

- [ACL10] Ayanso, A.; Cho, D. I.; Lertwachara, K.: The digital divide: global and regional ICT leaders and followers. *Information Technology for Development*. 16/10, S. 304–319, 2010.
- [BM09] Bogner, A.; Menz, W.: The Theory-Generating Expert Interview: Epistemological Interest, Forms of Knowledge, Interaction. In: (Bogner, A., Littig, B., Menz, W. Hrsg.): *Interviewing Experts*. Palgrave Macmillan, London,; S. 43–80, 2009. https://doi.org/10.1057/9780230244276_3.
- [Ca19] Cariolle, J.: Telecommunication Submarine Cable Deployment and the Digital Divide in Sub-Saharan Africa (Revised Version), 2019. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3202941>.
- [Co96] Couclelis, H.: The death of distance. *Environment and planning B: Planning and Design* 23(4)/96, S. 387-389, 1996.

- [COB18] Cruz-Jesus, F.; Oliveira, T.; Bacao, F.: The Global Digital Divide. *Journal of Global Information Management* 26/18, S. 1–26, 2018. <https://doi.org/10.4018/JGIM.2018040101>.
- [CW04] Chen, W.; Wellman, B.: The Global Digital Divide – Within and Between Countries. *IT & Society*. 1/04, S. 39–45, 2004.
- [Dö21] Döringer, S.: The problem-centred expert interview: Combining qualitative interviewing approaches for investigating implicit expert knowledge. *International Journal of Social Research Methodology* 24/21, S. 265–278, 2021. <https://doi.org/10.1080/13645579.2020.1766777>.
- [De20] Van Deursen, A.J.: Digital Inequality During a Pandemic: Quantitative Study of Differences in COVID-19–Related Internet Uses and Outcomes Among the General Population. *J Med Internet Res*. 22/20, S. 1–13, 2020. <https://doi.org/10.2196/20073>.
- [Di18] Van Dijk, J. Afterword: the state of digital divide theory. In (Ragnedda, M.; Muschert, G. Hrsg.): *Theorizing Digital Divides*. Routledge, United Kingdom, S. 199–206, 2018.
- [En20] Engels, J.I.: Infrastrukturen als Produkte und Produzenten von Zeit. *NTM Zeitschrift Für Geschichte Der Wissenschaften, Technik Und Medizin* 28/20 S. 69–90, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00048-019-00234-7>.
- [FH08] Fuchs, C.; Horak, E.: Africa and the digital divide. *Telematics and Informatics* 25/08 S. 99–116, 2008. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tele.2006.06.004>.
- [Fr22] Franken, J.; Reinhold, T.; Reichert, L.; Reuter, C.: The Digital Divide in State Vulnerability to Submarine Communications Cable Failure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection (IJCIP)* 38/22, 2022. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2022.100522>.
- [Ke67] Keesing, D.B.: Outward-Looking Policies and Economic Development. *The Economic Journal* 77/67 S.303–320, 1967. <https://doi.org/10.2307/2229306>.
- [KG20] Kersting, N.; Graubner, D.: Die digitale Transformation der deutschen Verwaltung Analysen zu Marktversagen und Daseinsvorsorge in Zeiten der Covid-19-Pandemie. In (Roters, W., Gräf, H., Wollmann, H. Hrsg.): *Zukunft Denken Und Verantworten*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 231–252, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31703-4_16.
- [Kh12] Khan, G.F.; Moon, J.; Swar, B.; Zo, H.; Rho, J.J.: E-government service use intentions in Afghanistan: technology adoption and the digital divide in a war-torn country. *Information Development* 28/12, S. 281–299, 2012. <https://doi.org/10.1177/0266666912438879>.
- [Ki96] Kittler, F.: The history of communication media. *Ctheory* S. 7–30, 1996.
- [Ko00] Koselleck, K.: *Zeitschichten*. Studien zur Historik. Suhrkamp, Berlin, 2000.
- [Kü19] Küsters, I.: Narratives Interview. In: (Baur, N.; Blasius J. Hrsg.) *Handbuch Methoden Der Empirischen Sozialforschung*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden S. 687–693, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_45.
- [Ku22] Kuntke, F.; Linsner, S.; Steinbrink, E.; Franken, J.; Reuter, C.: Resilience in Agriculture: Communication and Energy Infrastructure Dependencies of German Farmers.

International Journal of Disaster Risk Science (IJDRS) 13/22, S. 214–229, 2022.
Doi:10.1007/s13753-022-00404-7.

- [La18] Van Laak, D.: *Alles im Fluss: Die Lebensadern unserer Gesellschaft – Geschichte und Zukunft der Infrastruktur*. S. Fischer Verlage, Frankfurt am Main, 2018.
- [LKZ16] Limbach, F.; Kuebel, H.; Zarnekow, R.: Improving rural broadband deployment with synergistic effects between multiple fixed infrastructures. *Australasian Journal of Information Systems* 20/16, S. 1-17, 2016. <https://doi.org/10.3127/ajis.v20i0.1191>.
- [LM16] Luque-Ayala, A.; Marvin, S.: The maintenance of urban circulation: An operational logic of infrastructural control. *Environment and Planning D: Society and Space* 34/16, S. 191-208, 2016.
- [Ma02] Malecki, E.J.: The economic geography of the Internet's infrastructure. *Economic Geography* 78/22, S. 399–424, 2022.
- [Me99] Melosi, M. V.: *The Sanitary City: Urban Infrastructure in America from Colonial Times to the Present*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1999. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2307/2651437>.
- [MKH21] Myovella, G.; Karacuka, M.; Haucap, J.: Determinants of digitalization and digital divide in Sub-Saharan African economies: A spatial Durbin analysis. *Telecommunications Policy* 45/21, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102224>.
- [Mo16] T. Moss, T.: Discarded surrogates, modified traditions, welcome complements: The chequered careers of alternative technologies in Berlin's infrastructure systems. *Social Studies Science* 46/16 S. 559–582, 2016. <https://doi.org/10.1177/0306312716657205>.
- [Mo20] Moss, T.: *Remaking Berlin: A History of the City through Infrastructure, 1920–2020*. MIT Press, 2020.
- [NIS17] Nishijima, M.; Ivanauskas, T.M.; Sarti, T.M.: Evolution and determinants of digital divide in Brazil (2005–2013). *Telecommunications Policy* 41/17, S. 12–24, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2016.10.004>.
- [Po18] Portelli, A.: Living Voices: The Oral History Interview as Dialogue and Experience. *Oral History Review* 45/18, S. 239–248, 2018. <https://doi.org/10.1093/ohr/ohy030>.
- [RC10] Robison, K.K.; Crenshaw, E.M.: Reevaluating the Global Digital Divide: Socio-demographic and conflict barriers to the Internet Revolution. *Sociological Inquiry* 80/10, S. 34–62, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1475-682X.2009.00315.x>.
- [RD05] Riggins, F.; Dewan, S.: The Digital Divide: Current and Future Research Directions. *Journal of the Association for Information Systems* 6/05, S. 298–337, 2005. <https://doi.org/10.17705/1jais.00074>.
- [Re22] Reuter, C.; Kuntke, F.; Trapp, M.; Wied, C.; Brill, G.; Müller, G.; Steinbrink, E.; Franken, J.; Eberz-Eder, D.; Schneider, W.: *AgriRegio: Infrastruktur zur Förderung von digitaler Resilienz und Klimaresilienz im ländlichen Raum am Beispiel der Pilotregion Nahe-Donnersberg*. 52. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik (Workshop-Beiträge), Lecture Notes in Informatics (LNI) Hamburg, Germany (2022).
- [RH17] Radoll, P.; Hunter, B.: *Dynamics of the Digital Divide*. Australian National University Canberra, 2017.

- [RSE19] Reuter, C.; Schneider, W.; Eberz, D.: Resilient Smart Farming (RSF) – Nutzung digitaler Technologien in krisensicherer Infrastruktur, 39. GIL-Jahrestagung, Lecture Notes in Informatics (LNI) Vienna, Austria, S. 178-183, 2019.
- [Sa13] Sandvig, C.: The Internet as Infrastructure. Oxford University Press 2013. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199589074.013.0005>.
- [Sa22] Salama, M.; Ezzeldin, M.; El-Dakhkhni, W.; Tait, M.: Temporal networks: a review and opportunities for infrastructure simulation. *Sustain Resilient Infrastruct.* 7/22, S. 40–55, 2022. <https://doi.org/10.1080/23789689.2019.1708175>.
- [SB06] Star, S.L.; Bowker, G.C.: How to Infrastructure. In: *Handbook of New Media: Social Shaping and Consequences of ICTs*. SAGE Publications, Ltd, London, 151–162, 2006. <https://doi.org/10.4135/9781848608245.n12>.
- [SKS21] Saunavaara, J.; Kylli, R.; Salminen, M.: Telecommunication line infrastructure and the Arctic environment: past, present and future. *Polar Record* 57/21, S. 1 – 12, 2021.
- [ST16] Sujarwoto, S.; Tampubolon, G.: Spatial inequality and the Internet divide in Indonesia 2010–2012. *Telecomm Policy* 40/16, S. 602–616, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tel-pol.2015.08.008>.
- [ST22] Schläger, U.; Thode, J.C.: Rechtliche Grundlagen der Informationssicherheit. In: *Handbuch Datenschutz und IT-Sicherheit*. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co. KG, Berlin, S. 541-569, 2022.
- [Su18] Sugiyama, M.; Ghisu, M.E.; Llinares-López, F.; Borgwardt, K.: graphkernels: R and Python packages for graph comparison. *Bioinformatics* 34/18, S. 530–532, 2018. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btx602>.
- [Sz18] Szeles, M.R.: New insights from a multilevel approach to the regional digital divide in the European Union. *Telecomm Policy* 42/18, S. 452–463, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.03.007>.
- [Ta19] Tantardini, D.; Ieva, F.; Tajoli, L.; Piccardi, C.: Comparing methods for comparing networks. *Scientific Reports* 9/19, 17557, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53708-y>.
- [Th19] Thorat, D.: Colonial Topographies of Internet Infrastructure: The Sedimented and Linked Networks of the Telegraph and Submarine Fiber Optic Internet. *South Asian Review* 40/19, S. 252–267, 2019. <https://doi.org/10.1080/02759527.2019.1599563>.
- [Un18] UNESCAP, Co-Deployment of Fibre Optic Cables along Transport Infrastructure for SDGs, Including Cross Border, Bangkok, 2018.
- [Wa01] Warf, B.: Segueways into Cyberspace: Multiple Geographies of the Digital Divide. *Environment and Planning B Planning Design* 28/01, S. 3–19, 2001. <https://doi.org/10.1068/b2691>.
- [We19] Weber, H.: Zeitschichten des Technischen: Zum Momentum, Alter(n) und Verschwinden von Technik. In: (Heßler, M.; Weber, H. Hrsg): *Provokationen Der Technikgeschichte: Zum Reflexionszwang Historischer Forschung*, Ferdinand Schöningh, Paderborn S.. 107–150, 2019.