



Technische Universität Berlin
Institut für Land- und Seeverkehr
Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung



Resilient Cities – wie „standhaft“ und „anpassungsfähig“ ist der öffentliche Verkehr?

Resilienter öffentlicher Verkehr

Axel Philipp Neubert, B. Sc.

neubertaxel@gmx.de

Abschlussarbeit zur Erreichung des akademischen Grades Master of Science (M. Sc.) im
Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen Verkehrswesen

Betreuer_in: Dipl.-Ing. Sandra Reinert
 Prof. Dr. Oliver Schwedes

Berlin, 11. Dezember 2015

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, 11. Dezember 2015



Axel Philipp Neubert

Inhaltsverzeichnis	
Eidesstattliche Versicherung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Grundannahmen	2
2 Resilienz	4
2.1 Der Resilienzbegriff	4
2.2 Resilienzformen	7
2.3 Resilienzstrategien	7
2.3.1 Adaption	8
2.3.2 Transformation	8
2.3.3 Mitigation	9
2.4 Kosten der Resilienz	10
2.5 Resilienz in der Kritik	11
2.6 Resilient City	12
2.6.1 Resilienzcharakteristiken	13
3 Krisen und Störungen	16
3.1 Natur- und Wetterereignisse	17
3.2 Einfluss des Klimawandels	19
3.3 Anthropogene Krisen und Störungen	21
3.3.1 Terroranschläge	22
3.3.2 Gesellschaftliche Prozesse	23
3.4 Wild Cards	25
4 Resilienz im öffentlichen Verkehr	26

4.1	Definition	26
4.2	Beispiele von Folgen fehlender Resilienz	28
4.2.1	Elbehochwasser Juni 2013	29
4.2.2	Personalprobleme am Stellwerk Mainz	37
4.2.3	Kosten durch Wetterereignisse	39
5	Resilienzerhöhung	41
5.1	Klimawandel und Wetter	41
5.1.1	Adaption	42
5.1.2	Mitigation	50
5.1.3	Transformation	52
5.2	Demografischer Wandel	52
5.2.1	Altersstruktur in Unternehmen	52
5.2.2	Alternde Fahrgäste	54
5.3	Terrorresilienz	57
5.3.1	Aktive Maßnahmen	57
5.3.2	Passive Maßnahmen	60
6	Resilienzbewertung	64
6.1	Bewertung ex post	64
6.2	Bewertung ex ante	67
7	Zusammenfassung und Ausblick	71
7.1	Diskussion und Ausblick	73
8	Literaturverzeichnis	76
8.1	Internetressourcen	81
	Danksagung	85
	Anhang	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Steigerung der Resilienz über die Zeit (verändert nach Chelleri und Olazabal 2012, S. 48).....	9
Abbildung 2 Erhöhung der Starkregenhäufigkeit in Deutschland (verändert, nach Vallée 2013, S. 427)	20
Abbildung 3 Dimensionen der Resilienz im ÖV (eigene Darstellung)	27
Abbildung 4 Satellitenbild vom 10. Juni vom Betriebshof Nord (Ausschnitt, Hervorhebungen im Original, ©DLR 2013b, online)	31
Abbildung 5 Fotoaufnahme der überfluteten Strecken vom 11. Juni 2013 (©Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 22)	34
Abbildung 6 Ersatzfahrplan zur Umfahrung der gesperrten Strecke (©Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 23)	35
Abbildung 7 Linienzugbeeinflussung auf Fester Fahrbahn (Jailbird 2005, CC BY-SA 2.0).....	37
Abbildung 8 Maßnahmen der Adaption (©Eichhorst 2009, S. 23).....	42
Abbildung 9 Neubau einer Eisenbahnbrücke zwischen Dresden und Tharandt (©Müller 2010, S. 427)	45
Abbildung 10 erhöhter Zugang eines U-Bahnhofs (©Vallée 2013, S. 431).....	47
Abbildung 11 Ausschnitt mit Metro und Buslinien in Singapur (©Jin, Tang et al. 2014, S. 21)	48
Abbildung 12 Adaptionszyklus (nach Eichhorst 2009, S. 25, eigene Darstellung)	49
Abbildung 13 Anzeige zur Kampagne der MTA (©MTA 2010, online).....	59
Abbildung 14 verschiedene Mülleimerbauweisen bei Explosionen (©FTA 2004, S. 3–9).....	61
Abbildung 15 Straßenbahnhaltestelle Ha-Davidka in Jerusalem (©mh/Israelnetz 2014, online).....	62
Abbildung 16 Resilienzwertentwicklung an zwei Beispielen (eigene Darstellung)	66

Abbildung 17 Schema zur Resilienzbewertung (eigene Darstellung) 68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Wetterphänomene (Vajda, Tuomenvirta et al. 2014, S. 175).....	17
Tabelle 2 Attacken auf ÖV nach Region (vgl. START 2015, online)	23
Tabelle 3 Kosten durch Schäden nach Wetterereignissen (verändert nach Enei, Doll et al. 2011, S. 69 f.)	39
Tabelle 4 Zusammenfassung der Krisen und Störungen (s. Kapitel 3)	71

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Bundesministerium des Inneren
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
HGV	Hochgeschwindigkeitsverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MTA	Metropolitan Transportation Authority, ÖPNV Betreiber des US-Bundesstaates New York
MVB	Magdeburger Verkehrsbetriebe GmbH & Co. KG
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr, genaue Definition in Kapitel 1.1
SPNV	Schienenpersonennahverkehr

1 Einleitung

Planung wurde in den letzten Jahrzehnten oft unter der Prämisse der Nachhaltigkeit durchgeführt. Obwohl die Nachhaltigkeit weiterhin wichtig bleibt, stellen sich neuen Herausforderungen. Auftretende Krisen und Störungen unterschiedlichster Art stellen Städte und deren Infrastruktur vor Probleme und steigende Herausforderungen. Die Zunahme von Extremwetterereignissen und die Vergrößerung deren Ausmaße machen ein Umdenken notwendig. Nicht zuletzt durch schwere Naturkatastrophen wie die Zerstörung von New Orleans durch Hurrikan Katrina wird verdeutlicht, dass gängige Planungsgrundlagen überholt werden müssen. Es wird nicht immer möglich sein, sich vor den Auswirkungen von Störungen und Krisen zu schützen. Daher muss mehr Energie in die Fähigkeit investiert werden, nach Ende der Störeinwirkung wieder schnell in einen funktionsfähigen Zustand zu gelangen. Die großen Hochwasserereignisse seit 2002 sowie die Terroranschläge vom 13. November 2015 in Paris verdeutlichen die Aktualität des Themas und den zwingenden Handlungsbedarf.

Seit etwa Anfang der 2000er Jahre verbreitet sich das Konzept der Resilienz. Es wird aus der Psychologie abgeleitet und beschreibt die Fähigkeit zur selbstständigen Erneuerung nach einer Krise (Hitthaler 2011, S. 43). Von den USA ausgehend, wurde dieser Begriff auf die (Stadt-)Planung übertragen und führte zum Streben nach der Resilienten Stadt. Essentieller Bestandteil in der Resilienten Stadt ist der öffentliche Verkehr (ÖV), auf welchen sich die vorliegende Arbeit konzentrieren wird. Die großen Schäden an ÖV-Infrastruktur in den letzten Jahren lassen an der Resilienz dieses Bereiches zweifeln. Die vorliegende Arbeit untersucht, ob die Resilienz im ÖV momentan unzureichend ist, insbesondere in Bezug auf in Deutschland wahrscheinliche Störeinwirkungen wie Hochwasser, Demografischer Wandel und Terrorismus. Des Weiteren sollen Maßnahmen vorgestellt werden, die die Resilienz erhöhen und Möglichkeiten gefunden werden, die Resilienz zu bewerten.

Dazu wird zunächst auf das Konzept der Resilienz, deren verschiedenen Formen und Strategien sowie die entstehenden Kosten eingegangen. Zudem erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit der Resilienz und die Vorstellung des Konzepts der Resilienten Stadt. In Kapitel 3 werden für den ÖV relevante Krisen und Störungen genannt und beschrieben. Das beinhaltet Natur- und Wetterereignissen sowie Krisen und Störungen

anthropogener Ursachen. Das Verständnis der möglichen Störeinträge ist wichtig, um in diesen Bereichen die Resilienz gezielt zu erhöhen. In Kapitel 4 werden die verschiedenen Konzepte der Resilienz speziell auf den ÖV angewandt und daraus eine neue Definition für Resilienz im ÖV erstellt. Zudem werden an Beispielen die Folgen von Fehlender Resilienz gezeigt. Insbesondere die Auswirkungen des Hochwassers an der Elbe im Jahr 2013 waren die Motivation des Autors, sich dem Thema Resilienz zu widmen.

Im weiteren Verlauf werden bestehende Strategien der Resilienten Stadt in Kapitel 5 auf den ÖV angewendet und so Maßnahmen für die Resilienzerhöhung abgeleitet. Diese Maßnahmen werden sich hauptsächlich auf die Bereiche Hochwasser, Demografischer Wandel und Terroranschläge mit explosivem Material beschränken. In Kapitel 6 werden zudem Möglichkeiten zur Bewertung der Resilienz entwickelt und kritisch bewertet. Nach der Zusammenfassung erfolgt abschließend ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung.

Die Grundannahmen, die zum ÖV getroffen wurden, werden folgend dargestellt.

1.1 Grundannahmen

Die vorliegende Arbeit wird sich auf Bereiche des öffentlichen Verkehrs beziehen. Eine Definition des öffentlichen Verkehrs lautet:

„Der öffentliche Verkehr stellt ein Leistungsangebot zur Ortsveränderung von Personen und materiellen Gütern mit definierter örtlicher und zeitlicher Verfügbarkeit bereit, das von jedermann aufgrund vorgegebener Beförderungsbestimmungen beansprucht werden kann, verschiedene Einzelnachfragen zusammenfasst und den Zwang zum Selbstfahren ausschliesst [sic]“ (Wichser, Schneebeli et al. 2005, S. 2).

Die Definition ist sehr weit gefasst, da sie auch materielle Güter beinhaltet. Diese werden jedoch in den weiteren Ausführungen nicht behandelt. Es erfolgt vielmehr eine gängige Beschränkung des öffentlichen Verkehrs auf den öffentlichen Personenfernverkehr und den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) (vgl. Dziekan 2011, S. 318). Eine weitere Eingrenzung erfolgt durch die Konzentration auf den Schienenverkehr, dadurch ergeben

sich die Untersuchungsbereiche öffentlicher Schienenpersonenfernverkehr (SPFV), Schienenpersonennahverkehr (SPNV) sowie Straßenbahnen (inklusive Stadtbahnen und U-Bahnen) aus dem Bereich des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs (ÖSPV). Um längere oder neue Abkürzungen zu vermeiden, wird folgend für die getroffenen Einschränkungen der Begriff „öffentlicher Verkehr (ÖV)“ genutzt.

Die Konzentration auf den Schienenverkehr hat mehrere Gründe. Wegen der hohen Fahrgastkapazitäten besitzt dieser eine herausragende Bedeutung für den Verkehr allgemein. Durch die im Vergleich zum Straßenverkehr geringere Netzdichte reagiert der Schienenverkehr zudem sensibler auf Störungen der Infrastruktur. Im Straßenverkehr kann bei Ausfall einer Strecke oder eines Knoten meist relativ einfach die Route gewechselt werden, während im Schienenverkehr dadurch schwerwiegendere Auswirkungen bis zur Unterbrechung des Betriebes entstehen. Wenn dann viele Fahrgäste auf alternative Verkehrsmittel und damit auf die Straße ausweichen, kommt es in diesem Fall zu Überlastungen des Straßenverkehrs. Daher ist die Betrachtung der Resilienz für den Schienenverkehr von großer Wichtigkeit. Zur Resilienz der Straßeninfrastruktur bietet sich eine gesonderte Untersuchung an.

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf Deutschland bzw. in Bezug auf klimatische und geografische Gegebenheiten vergleichbare Gebiete. Diese Einschränkung erfolgt, um vor allem die Komplexität der Klima- und Wetterauswirkungen zu reduzieren.

Im Bemühen um eine gendergerechte und diskriminierungsfreie Sprache erfolgt die Nutzung genderneutraler Bezeichnungen oder Gendergaps (z. B. Mitarbeiter_innen).

2 Resilienz

Das folgende Kapitel befasst sich zunächst mit dem Begriff Resilienz. Es werden die wichtigsten Definitionen, deren Zusammenhang und Reichweite genannt. Darauf folgt eine Beschreibung verschiedener Resilienzformen, dadurch soll die Komplexität des Konzeptes verdeutlicht werden. Wie Resilienz erreicht werden kann, wird anschließend mit den verschiedenen Resilienzstrategien vorgestellt, dabei sind vor allem Adaption, Mitigation und Transformation ausschlaggebend. Es folgt eine kurze wirtschaftliche Betrachtung aus Kostensicht, um zu verdeutlichen, dass Resilienz nicht ohne Einschränkungen in anderen Bereichen, wie der Effizienz, zu erreichen ist. Zur Vervollständigung des Bildes erfolgt dann eine Kritik am Konzept der Resilienz. Abschließend wird die Idee Resilient City vorgestellt, in der Resilienz auf eine ganze Stadt ausgedehnt wird. Zudem werden dort die Begriffspaare der Resilienzcharakteristiken benannt. Der Bezug von Resilienz auf den ÖV erfolgt in Kapitel 4.

2.1 Der Resilienzbegriff

„Resilience is the capacity of a system to absorb disturbance and still retain its basic function and structure“ (Walker und Salt 2006, S. XIII).

Es existieren viele verschiedene Auffassungen von Resilienz, welche auf die verschiedenen Herkunftsbereiche zurückgehen. Ausgehend von der Psychologie und den Erziehungswissenschaften, breitete sich der Begriff in Planung, Ökonomie, Ökologie und Ingenieurwesen aus. Die zitierte Definition der Ökologen Walker und Salt stellt etwa einen Grundkonsens dar, der in allen Teilbereichen Gültigkeit findet. Resilienz ist demnach die Fähigkeit eines Systems, Störungen zu absorbieren und dabei seine grundsätzliche Funktion und Struktur beizubehalten. Die verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen erweitern diese Definition und spezifizieren sie. Folgend werden vier Resilienzherangehensweisen dieser unterschiedlichen Bereiche vorgestellt: Psychologie, Ökologie, Ingenieurwesen und Ökonomie. Anhand dieser Disziplinen soll die Breite des Resilienzbegriffes verdeutlicht werden. Eine Definition der Resilienz im ÖV wird später daraus abgeleitet.

Ausgangspunkt der Resilienzforschung ist die Psychologie und insbesondere die Entwicklungspsychologie. Die Definition für Resilienz aus psychologischer Sicht lautet:

Resilienz ist „die Fähigkeit, starke seelische Belastungen, ungewöhnliche Entwicklungsrisiken, auch erlebte Traumata, ‚unbeschadeter‘ zu bewältigen als zu erwarten stünde“ (Zander 2011, S. 9).

Von der Psychologie aus verbreitete sich der Begriff Resilienz in andere Humanwissenschaften und schließlich in verschiedene Forschungsfelder. Besondere Verbreitung hat die sozio-ökologische Sichtweise von Walker und Salt (2006; 2012). Ihre oben zitierte Definition von 2006 erweitern sie 2012 wie folgt:

„[Resilience] is the capacity of a system to absorb disturbance and reorganize so as to retain essentially the same function, structure, and feedbacks – to have the same identity¹“ (Walker und Salt 2012, S. 3).

Auffällig im Vergleich zu anderen Definitionen ist das Augenmerk auf das *Erhalten der Identität*. Dadurch wird deutlich, dass Resilienz nicht darauf ausgerichtet ist, einen Zustand rigide beizubehalten und nach einer Krise exakt so wieder herzustellen, sondern dass vielmehr die Identität bzw. die spezifische Eigenart eines Systems nicht verloren gehen darf. Damit besteht die Möglichkeit, resilient zu sein und sich trotzdem zu verändern. Es kann sogar erforderlich sein, dass eine Veränderung bzw. Anpassung stattfindet, um resilient zu sein. Im Kontrast dazu sehen andere Auffassungen die Resilienz als die Fähigkeit eines Systems, in einen stabilen Gleichgewichtszustand zurückzukehren, nachdem es gestört wurde (vgl. Pickett, Cadenasso et al. 2004, S. 373). Dabei erfolgte keine Anpassung an veränderte Umstände, sondern nur die Wiederherstellung des vorherigen Zustandes.

Eng mit der Resilienz verknüpft sind Störungen oder andere Ereignisse, die eine Reaktion darauf nötig machen. Ökologie und Psychologie haben ein gemeinsames Verständnis von Störung, in dem abstrakt mit bekannten und unbekanntem Störgrößen gerechnet wird (vgl. Walker und Salt 2012, S. 145). Dieser Ansatz stellt die Ingenieurwissenschaften vor große Herausforderungen. Eine Einstellung und

¹ Deutsche Übersetzung: „Resilienz ist die Fähigkeit eines Systems Störungen zu absorbieren und sich zu reorganisieren, so dass im Wesentlichen die gleichen Funktionen, Strukturen und Resonanzen erhalten bleiben. Die Identität wird bewahrt“.

Vorbereitung auf insbesondere unbekannte Störungen ist nur schwer durchführbar. Daher wird in diesem Bereich eher eine Abschätzung der möglichen Störfälle vorgenommen. Mit gezielten Maßnahmen wird dann die Vulnerabilität² gesenkt und die Resilienz erhöht. Daher kann Resilienz im technischen Sinn als „Meta-Robustheit“ angesehen werden (vgl. Walker und Salt 2012, S. 145). Dieser Ansatz wird in den folgenden Kapiteln ausschlaggebend sein.

In anderen Disziplinen, wie der Ökonomie, wird die Definition der Resilienz an die gegebenen Umstände angepasst, um beispielsweise die Resilienz eines Unternehmens zu beschreiben:

„Unternehmerische Resilienz ist die Eigenschaft eines Unternehmens, externe Schocks oder Verwerfungen der sozialen, wirtschaftlichen oder politischen Rahmenbedingungen auszuhalten und sich an die neuen Bedingungen anzupassen.“ (Günther o. J., online)

Hier wird besonders deutlich, dass Resilienz auch Anpassung gegenüber geänderten äußeren Bedingungen ist. Daher ist ein weiterer wichtiger Aspekt in der Resilienz die Bedeutung von Schwellenwerten. Diese Schwellen drücken aus, ab wann nach der Änderung der äußeren Bedingungen eine Anpassung notwendig wird. Resilienz sollte sich mit dem Verständnis dieser Werte befassen und dadurch eine Erhöhung der Schwellen veranlassen bzw. ein Erreichen der Schwellen erschweren (vgl. Walker und Salt 2012, S. 6).

Die vorgestellten Konzepte verdeutlichen die teilweise verschiedenen Interpretationen von Resilienz. Damit wird betont, dass Resilienz ein adaptives Konzept ist, um auf Veränderung von Bedingungen und Zuständen zu reagieren. Resilienz findet so Anwendung nicht nur für einzelne Individuen oder Organisationen, sondern auch für komplexe Systeme. Ein Beispiel dafür ist das Konzept der Resilient City – der Resilienten Stadt (s. Kapitel 2.6).

² Die Vulnerabilität beschreibt die Verletzlichkeit eines Systems, also in wie weit dieses unfähig ist, auf Störungen und Krisen zu reagieren. Dazu gehört auch insbesondere der Klimawandel mit schwankenden und extremen Wetterereignissen (vgl. Otto-Zimmermann 2011, S. 568). Die Definition von Vulnerabilität lässt sich multidimensional erweitern auf die Bereich Soziales, Ökonomie, Umwelt und Institutionen (vgl. Birkmann 2008, S. 16).

2.2 Resilienzformen

Neben den diversen Definitionen lässt sich die Resilienz in verschiedene Formen einteilen. Folgend werden die allgemeine und spezifische sowie die konstitutionelle und erworbene Resilienz vorgestellt. Die Unterscheidung in diese Formen ist wichtig für das Verständnis, wie Resilienz entsteht. Es gibt nicht nur eine Möglichkeit, Resilienz zu erhöhen und es gibt auch nicht nur eine bestimmte Resilienz, sondern je nach Anwendungsfall sind mehrere Resilienzen möglich, die sich sogar ausschließen können.

Die *spezifische* und die *allgemeine* Resilienz sind zwei komplementäre Prinzipien. Die *spezifische* Resilienz bezieht sich auf einen bestimmten Teil des Systems, der gegen eine bestimmte Störung resilient ist. Die Grundlage der *allgemeinen* Resilienz ist das gesamte System sowie alle denkbaren und unvorhersehbaren Störereignisse. Da die Konzepte komplementär sind, muss ein Trade-off stattfinden. Das bedeutet, dass beispielsweise Teile der allgemeinen Resilienz aufgegeben werden müssen, um eine spezifische Resilienz aufzubauen (vgl. Walker und Salt 2012, S. 8 f.).

Die Unterscheidung zwischen *konstitutioneller* und *erworbener* Resilienz erfolgt durch deren Ursache der Resilienz. Bei der *konstitutionellen* Resilienz besteht diese von Beginn an und ist eingebaut. Es kann sich dabei auch um einen natürlichen Schutz handeln. Die *erworbene* Resilienz beschreibt hingegen die Resilienz, die erst durch nachträgliche Maßnahmen entstanden ist (vgl. Kegler 2014, S. 25–28).

Beim Bau von Infrastruktur kann also von Anfang an eine Resilienz durch die Konstruktion entstehen, wenn beispielsweise eine Überflutung ohne bleibende Schäden möglich ist. Diese konstitutionelle Resilienz kann dann später noch durch erworbene Resilienz erweitert werden, indem es zu Umbauten kommt oder andere Vorkehrungen getroffen werden.

2.3 Resilienzstrategien

Um Resilienz zu erreichen, gibt es verschiedene Strategien. In der Definition des Weltklimarates (IPCC 2014, S. 127) heißt es dazu, dass Resilienz auch „maintaining the capacity for adaptation, learning and transformation“ beinhaltet. Nachkommend sollen daher Adaption und Transformation näher beschrieben werden, zusätzlich wird noch

das Konzept Mitigation erklärt. Diese Strategien beziehen sich hauptsächlich auf den Umgang mit den Folgen des Klimawandels. Dieser wird im Weiteren eine bedeutende Rolle spielen, da durch ihn ein großes Störpotential für den ÖV entsteht (s. Kapitel 3.2). Diese im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu sehenden Strategien werden später auch auf andere Bereiche angewendet.

2.3.1 Adaption

Als Adaption werden Maßnahmen bezeichnet, die die Vulnerabilität von natürlichen oder menschlichen Systemen reduzieren und damit Schaden oder andere negative Auswirkungen vermeiden. Dazu erfolgt eine Anpassung an tatsächliche oder erwartete Folgen des Klimawandels (Otto-Zimmermann 2011, S. 565; IPCC 2014, S. 118).

2.3.2 Transformation

Eine Transformation ist laut IPCC (2014, S. 128) „a change in the fundamental attributes of natural and human systems“. Im Gegensatz zur Adaption erfolgen also keine einzelnen Maßnahmen zur Anpassung sondern eine grundsätzliche Umformung des Systems.

Transformation erfordert einen transdisziplinären Ansatz, der u. a. die Bereiche Wissenschaft, Planung, Wirtschaft und Politik einschließt. Bei der Transformation kommt es zu einer Verschiebung des Gesellschafts-Natur-Verhältnisses. Störungen bieten aus Sicht der Transformation die Gelegenheit, zu einer Verbesserung des Ausgangszustandes zu gelangen, es handelt sich dann um eine „transformative Störung“. Die Transformation bietet die Chance, alte Strukturen zu überdenken und umzugestalten (vgl. Kegler 2014, S. 42–44). Dabei können Elemente der Adaption und Mitigation enthalten sein. Der Transformation werden jedoch mit der Resilienzdefinition auch Grenzen gesetzt – die Identität des Systems muss gewahrt bleiben.

2.3.2.1 Zeitlicher Ablauf vom Adaption und Transformation

Die vorgestellten Strategien sind nicht als alleinstehende Maßnahmen zu verstehen, sondern ganzheitlich zu betrachten. Eine Verbindung der Strategien hat das Erreichen einer höheren Resilienz zum Ziel. Der zeitliche Zusammenhang zwischen Adaption und Transformation ist in Abbildung 1 erkennbar.

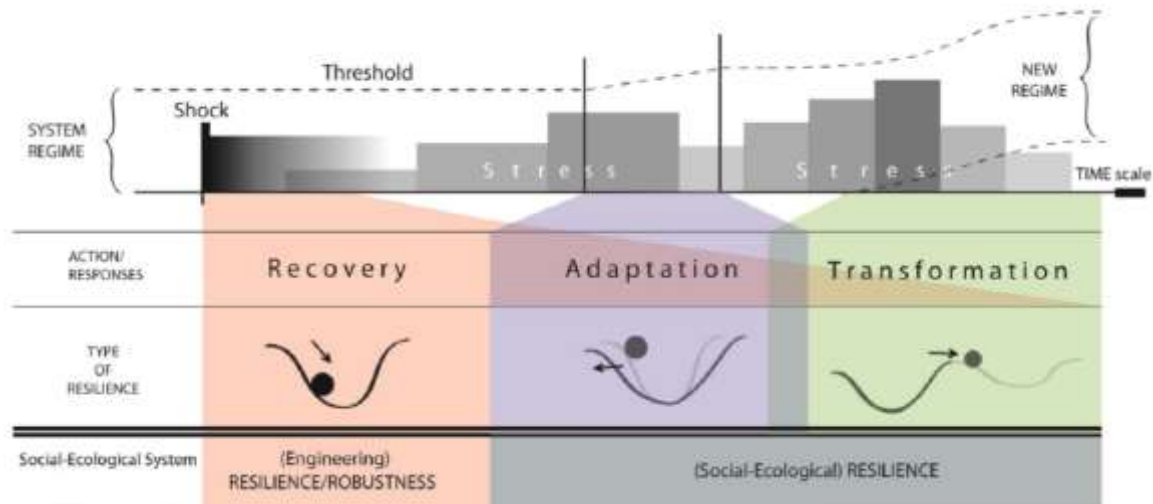


Abbildung 1 Steigerung der Resilienz über die Zeit (verändert nach Chelleri und Olazabal 2012, S. 48)

Die Reaktion auf ein Störereignis wird beschrieben mit der Abfolge von Erholung, Adaption und Transformation. Die Erholung beschreibt den Prozess unmittelbar nach der Störung. Er beinhaltet Wiederaufbau, Reparaturen und Neubauten. Das System soll möglichst an den Ausgangspunkt gebracht werden. Im Allgemeinen kommt es auch zur Verstärkung der Robustheit, auf die dann die Adaption folgt. Durch die Adaption werden die Schwellenwerte (Threshold) erhöht. Das bedeutet, dass die Toleranz für eine Störung erhöht wird, weil es schwieriger ist, den Schwellenwert zu erreichen (z. B. durch die Erhöhung von Deichen). Im weiteren Zeitverlauf sollte dann eine Transformation stattfinden, die das System an sich verändert. Es soll so ein neuer Systemzustand hergestellt werden, der durch höhere Schwellenwerte resilienter als der Ausgangszustand ist.

2.3.3 Mitigation

Eine weitere Strategie ist die Mitigation, welche auch als Klimaschutz bezeichnet wird. Die Maßnahmen beinhalten die Reduzierung von Treibhausgasemissionen sowie die verminderte Nutzung von Ressourcen, die die Atmosphäre und das Klima verändern. Ziel dieser Maßnahmen ist die Abschwächung oder Verlangsamung des Klimawandels (IPCC 2014, S. 125). Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten meist reaktiven Maßnahmen stellt die Mitigation ein Instrument dar, welches das Problem des Klimawandels proaktiv adressiert.

2.4 Kosten der Resilienz

Die Bewertung der Kosten der Resilienz ist komplex. Einerseits verursachen Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz direkte und indirekte Kosten, andererseits werden auch Einsparungen erzielt.

Die entstehenden direkten Kosten sind den Maßnahmen klar zurechenbar (z. B. Baukosten für einen Deich). Indirekte Kosten wie Verdienstaufschlag entstehen, wenn zur Resilienzsteigerung Effizienz, Produktionsraten oder andere Faktoren reduziert werden. Insbesondere Effizienz ist von Resilienz betroffen. Beim Streben nach Effizienz werden für gewöhnlich Redundanzen abgebaut und Sicherheiten wie Lagerbestände reduziert. Es werden nur gewinnbringende Prozesse gefördert. Diese Optimierung führt daher zu einer größeren Anfälligkeit von Systemen gegenüber Störereignissen. Die just-in-time Philosophie ist aus Resilienz­sicht ein Beispiel für eine solche Fehlentwicklung. Durch die drastische Reduzierung von Lagerbeständen kommt es zwar zu großen Einsparungen, aber die Anfälligkeit durch Störungen wird wesentlich erhöht. Fällt eine Maschine aus, oder ist ein Transportweg unterbrochen, kann es zu kritischen Materialengpässen kommen (vgl. Walker und Salt 2006, S. 7–9).

Opportunitätskosten fallen ebenfalls an, wenn für Resilienz genutzte Ressourcen andere Projekte verhindern (vgl. Walker und Salt 2012, S. 21 f.). Die von diesen verhinderten Projekten potentiell generierten Gewinne sind Opportunitätskosten.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gehören auch die Kosteneinsparungen, die durch Resilienz entstehen können. Die Höhe dieser Einsparungen lässt sich jedoch kaum messen. Erst wenn es durch fehlende Resilienz zu Schäden gekommen ist, lässt sich abschätzen, wie viel durch Resilienz hätte gespart werden können. Daher ist die Steigerung der Resilienz zuungunsten beispielsweise von Effizienz eine Ermessensfrage und abhängig von den Prioritäten einer Organisation.

Kosten für Resilienz können durch den Ansatz „nicht alles ist wichtig“ eingespart werden. Resilienz bedeutet nicht, dass alle kleinsten Systembestandteile resilient sein müssen. Vielmehr ist es notwendig, durch eine genaue Systemkenntnis die Bestandteile zu identifizieren, die essentiell für das System sind. Es findet also eine Konzentration auf die wichtigsten Systemfunktionen statt, um die notwendigen resilienten Prozesse zu erkennen (vgl. Walker und Salt 2012, S. 22 f.).

2.5 Resilienz in der Kritik

Das Konzept der Resilienz ist nicht unumstritten. Die Kritik beginnt an den Definitionen. Wie bereits erwähnt, existiert eine Vielzahl von Auffassungen zu Resilienz. Diese sind dabei oft „mehrdeutig und unklar“. Das Konzept sei zudem nur begrenzt empirisch valide und zeigt einseitige kulturelle Vorannahmen (Brand, Hoheisel et al. 2011, S. 78–80). Trotz dieser Kritik kann Resilienz als verbindender Ansatz zwischen verschiedenen Disziplinen genutzt werden. Durch eine Anpassung auf das jeweilige Untersuchungsgebiet lassen sich zudem Unklarheiten in der allgemeinen Definition beseitigen. Jedoch muss bei der Verwendung des Begriffs Resilienz immer dessen Bedeutung für die Beteiligten gleich sein.

Durch die begriffliche Offenheit ist Resilienz ähnlich interdisziplinär wie *Nachhaltigkeit*. Sie wird teilweise als Nachfolgerin der Nachhaltigkeit betrachtet, nachdem der Begriff der Nachhaltigkeit zunehmend an Schärfe verliert. Damit kein einfacher Austausch der Begriffe erfolgt, muss eine Abgrenzung zwischen Nachhaltigkeit und Resilienz erfolgen. Nachhaltigkeit bezieht sich eher auf die Erhaltung des Ganzen, während sich Resilienz auf die Erhaltung der Eigenart (bzw. Identität) bezieht. Resilienz setzt zudem Nachhaltigkeit voraus, Nachhaltigkeit jedoch nicht Resilienz (vgl. Sieverts 2013, S. 158).

Ein weiterer kritischer Aspekt ist die vermeintliche Fortschrittsfeindlichkeit der Resilienz bzw. deren konservierenden Charakter. Diese Kritik geht vermutlich auf die unklare Definition der Resilienz zurück, indem sie annimmt, dass Resilienz nur eine Erhaltung des Vorhandenen bedeutet. Jedoch beinhaltet Resilienz ausdrücklich die Anpassung und damit Veränderung des Systems nach äußeren Einflüssen, so dass die Identität und der Charakter bestehen bleiben. Protektionismus ist beispielsweise kein Beispiel für Resilienz. Obwohl dabei Maßnahmen für die Erhaltung des Status quo getroffen werden (z. B. Schutzzölle gegen ausländische Produkte), steigern diese nicht die Resilienz. Diese Marktbeeinflussung schadet vielmehr, da die Fähigkeit eines Unternehmens zur Reaktion auf Marktstörungen dadurch reduziert wird und somit die Anfälligkeit für Störungen steigt (vgl. Walker und Salt 2012, S. 23 f.).

Der Begriff *Resilienz* ist streng genommen wertefrei, er kann also positive und negative Bedeutung haben. Tatsächlich ist es möglich, dass unerwünschte Systemzustände sehr resilient sein können. Ein Beispiel dafür sind unerwünschte politische Systeme, die seit

Jahrzenten bestehen. In solchen Fällen kann es sinnvoll sein, die Resilienz zu reduzieren (vgl. Walker und Salt 2012, S. 20). Bevor also Systeme durch Maßnahmen eine höhere Resilienz erhalten, müssen diese bewertet und analysiert werden. Unbefriedigende Systeme müssen zunächst in einen vorteilhafteren Zustand transformiert werden (s. Kapitel 2.3.2), bevor eine Resilienzsteigerung vorgenommen werden sollten.

2.6 Resilient City

Ein besonderer Anwendungsfall für Resilienz ist die *Resilient City*, die Resiliente Stadt. Städte sind komplexe Systeme und stellen daher hohe Ansprüche an Resilienz. Jeder Teil der Siedlung muss in seiner spezifischen Weise resilient sein. Dazu gehören u. a. die Menschen und deren Interaktion mit der Umwelt, die Infrastruktur sowie die Wirtschaft. Eine Definition der UN zur Resilienten Stadt lautet:

“A Resilient Community is a city, town or neighbourhood that reduces its vulnerability to dramatic change or extreme events and responds creatively to economic, social and environmental change in order to increase its long-term sustainability” (UN 2007, online).

Eine Erweiterung dieses Ansatzes erfolgt durch Newman, der explizit den Klimawandel und die Fähigkeit der Reaktion darauf in die Definition aufnimmt.

Resilience is „a city’s ability to respond to a natural resource shortage and respond to the recognition of the human impact of climate change“ (Newman, Beatley et al. 2009, S. 6).

Das komplexe System Stadt kann zum besseren Verständnis in vier Dimensionen der Resilienz eingeteilt werden (Colussi, Lewis et al. 2000, S. 11):

- Menschen
- Organisationen

³ Deutsche Übersetzung: „Eine resiliente Gemeinschaft ist eine Großstadt, Stadt oder Quartier, die ihre Vulnerabilität gegenüber dramatischen Veränderungen oder extremen Ereignissen reduziert und kreativ auf ökonomischen, sozialen und ökologischen Wandel reagiert, um ihre langfristige Nachhaltigkeit zu erhöhen.“

⁴ Deutsche Übersetzung: „Resilienz ist die Fähigkeit einer Stadt, einem Mangel an natürlichen Rohstoffen zu begegnen und in Anerkennung des humanen Einflusses auf den Klimawandel auf diesen zu reagieren“.

- Prozesse
- Ressourcen

Für diese Teilbereiche muss die Resilienz jeweils einzeln betrachtet werden. Neben der bereits angesprochenen Resilienz von Menschen und Organisationen/Unternehmen ist eine Untersuchung der Prozesse wichtig. Diese Dimension enthält die strategische Planung einer Stadt bzw. Gesellschaft. Darin werden Visionen für die Zukunft festgelegt, Ziele geplant und der Fortschritt gemessen (vgl. Colussi, Lewis et al. 2000, S. 12). Die Resiliente Stadt erfordert also die Vernetzung der verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen Stadtplanung, Ökologie und Sozialwissenschaften.

Es wird deutlich, dass Resilienz mehr ist als nur das einfache Fortbestehen einer Stadt. Da zwischen den Jahren 1100 und 1800 nur 42 Städte permanent zerstört oder verlassen wurden und seitdem noch weniger, würde das sonst bedeuten, dass alle Städte resilient sind (vgl. Vale und Campanella 2005, S. 3). Jedoch hat sich bei vielen alten Städten wie Jerusalem die Identität der Stadt und Bevölkerung über die Jahre teilweise radikal geändert. Es ist also wichtig, die Resiliente Stadt als komplexes Konstrukt zu betrachten und alle Dimensionen mit einzuschließen, anstatt nur auf das Überleben der Stadt zu achten. Die Identität einer Stadt wird durch das Zusammenspiel der vier Dimensionen bestimmt. Sie ist das entscheidende Merkmal für die Resilienz einer Stadt.

2.6.1 Resilienzcharakteristiken

Die Resiliente Stadt lässt sich auch anhand einer Reihe von Faktoren beschreiben. Nach Kegler (2014) ist die Resilienz ein dynamisches Gleichgewicht zwischen jeweils zwei Positionen.

Robustheit und Fragilität sind die wichtigsten Faktoren der Resilienz (vgl. Kegler 2014, S. 49). Oftmals wird Resilienz mit Robustheit gleich gesetzt. Robustheit und Widerstandsfähigkeit sind jedoch nicht allein ausschlaggebend für die Resilienz. Resiliente Systeme zeichnen sich auch durch Fragilität und Soll-Bruchstellen aus. Dieses Erkenntnis ist wichtig, da keine grenzenlose Robustheit erreicht werden kann. Selbst ein hoher Deich kann bei Hochwasserereignissen überschwemmt werden oder brechen. Das Verletzlichkeitsparadoxon verdeutlicht die Gefahr der steigenden Robustheit:

„In dem Maße, in dem ein Land in seinen Versorgungsleistungen weniger stör anfällig ist, wirkt sich jede Störung umso stärker aus.“ (BMI 2009, S. 8)

Um diese stärkeren Auswirkungen zu verhindern, kann eine Schwachstelle in das System eingebaut werden, die beim Erreichen eines bestimmten Stellenwertes bricht. Die Folgen dieses Bruches sollten dabei geringer sein, als ein Überschreiten der eigentlichen Robustheit.

Ein weiteres Begriffspaar ist *Kompaktheit und Dezentralität* (vgl. Hitthaler 2011, S. 44). Eine kompakte Struktur verkürzt Wege und erhöht die Effizienz. Jedoch ist ein kompaktes System verwundbar. Ein dezentrales System ist hingegen robuster, da Störeinflüsse auf ein Teilsystem andere Teilsysteme wenig beeinflusst. Dezentrale Systemstrukturen eignen sich besonders für komplexe Systeme, da diese besser dezentral gelenkt werden als von einer einzelnen Stelle (vgl. Hitthaler 2011, S. 44). Diese Faktoren können auf Unternehmen bzw. Organisationen angewendet werden, aber auch auf Planung und Strukturen.

Das Spannungsfeld *Autarkie und Austausch* bezieht sich gezielt auf Resilient Cities. Mit Autarkie wird eine Unabhängigkeit von globalen Einflüssen erreicht, eine selbstständige Stadt ist also weniger anfällig für externe Einflüsse. Jedoch ist auch ein Austausch mit anderen Städten und Regionen notwendig, da sonst Bedrohungen übersehen werden könnten. Zudem kann es zu Problemen in Notsituationen kommen, wenn Hilfe von außen benötigt wird, aber keine geeigneten Voraussetzungen für Kontakt- und Informationsaustausch bestehen, die bei einem normalen Austausch bestünden (vgl. Hitthaler 2011, S. 44).

Auch *Redundanz und Vielfalt* beeinflussen die Resilienz. Redundante Systeme zeichnen sich durch eine hohe Stabilität aus. Eine Monokultur muss dabei durch Vielfalt verhindert werden. Vielfalt garantiert dabei Auswahlmöglichkeiten (vgl. Kegler 2014, S. 51).

Stabilität und Flexibilität beschreiben hinsichtlich der Planung die Notwendigkeit, einerseits Festlegungen zu treffen und andererseits auf Änderungen variabel reagieren zu können (vgl. Kegler 2014, S. 51).

Letztlich muss ein Mittelweg zwischen *Modularität und Komplexität* gefunden werden. Bei der Modularität werden einzelne Komponenten zu einem System verknüpft. Durch diese Eigenschaften können einzelne Module versagen, wobei das System erhalten bleibt. Modularität birgt jedoch die Gefahr der Unterkomplexität. Das System muss trotz der einzelnen Module ganzheitlich, komplex und zusammenhängend angelegt sein (vgl. Kegler 2014, S. 51).

Bei der Analyse dieser Begriffspaare fällt auf, dass Resilienz nicht durch das ausschließliche Konzentrieren auf eine Eigenschaft erreicht werden kann. Systemspezifisch muss ein Abwägen erfolgen, wie ein Gleichgewicht der Positionen erreicht werden kann. Es gibt also keine Vorgaben, in wie weit ein System beispielsweise fragil oder robust sein muss, um resilient zu sein. Diese Entscheidung kann nur durch genaue Kenntnis des Systems und die gestellten Anforderungen an die Resilienz getroffen werden. Diese Anforderungen ergeben sich durch die Krisen und Störungen, die ein System treffen können. Sie werden im anschließenden Kapitel mit Augenmerk auf den ÖV vorgestellt.

3 Krisen und Störungen

Dieses Kapitel beschreibt die Störeinflüsse, die Resilienz notwendig machen. Es erfolgt eine Konzentration auf für den Verkehr und ÖV relevante Störungen. Für andere Bereiche können weitere Störungen hinzukommen bzw. irrelevant sein, dies wird hier jedoch nicht vertieft behandelt.

In der Resilienzforschung gibt es zwei Herangehensweisen an die Benennung von Krisen und Störungen. In der Ökologie und Psychologie werden denkbare aber auch undenkbbare Ereignisse (s. Kapitel 2 und 3.4) genutzt, um die Resilienz zu überprüfen (Vgl. Walker und Salt 2012, S. 145). Für Ingenieur- und Planungswissenschaften ist dieser Ansatz nur wenig praktikabel. Die Vorbereitung auf undenkbbare Ereignisse kann derart hohe Aufwendungen verlangen, dass wahrscheinlichere Störfälle vernachlässigt werden. Vielmehr ist es wichtig, bestimmte Störungen und Krisen sowie deren Reichweite zu definieren, um dann gezielt die Resilienz in diesen Bereichen auszubauen. Als Störungen werden folgend singuläre Vorfälle bezeichnet oder solche mit kurzer Dauer. Dazu zählen die meisten Natur- und Wetterereignisse sowie Unfälle und Anschläge. Im Gegensatz dazu bezeichnen Krisen eine langanhaltende Entwicklung wie beispielsweise Kriege oder gesellschaftliche Änderungsprozesse.

Wie bereits angedeutet, existiert eine Vielzahl an Störungen und Krisen, die unterschiedlich kategorisiert werden können. So unterscheiden beispielsweise Vale und Campanella (2005, S. 6) zwischen natürlichen und humanen Katastrophen. Das Bundesministerium des Inneren (2009, S. 7) unterteilt die humanen Vorfälle dazu noch in technisches bzw. menschliches Versagen sowie Terrorismus und Kriminalität. Bei Vajda et al. (2014, S. 174–176) und Enei et al. (2011, S. 21 f.) werden sehr konkrete Angaben zu Wetterereignissen gemacht.

Folgend wird zwischen der anthropogenen Krise und Natur- bzw. Wetterereignis unterschieden.

3.1 Natur- und Wetterereignisse

Natur- und Wetterereignisse fassen als Kategorie alle Einflüsse zusammen, die durch die Umwelt und Atmosphäre auf den ÖV einwirken. Sie werden zusammenfassend auch als „Natural Hazard“ bezeichnet (vgl. Birkmann 2008, S. 6). Wetterereignisse sind Störungen, da sie singulär zu einem bestimmten Zeitpunkt, ggf. über einen kurzen Zeitraum, auftreten. Sie sind regional begrenzt, können sich aber vor allem durch Folgen von Wetter auf größere Gebiete ausweiten, wie beispielsweise Hochwasser.

ÖV und Verkehr sind generell relativ schutzlos gegenüber Wetterereignissen. Unter anderem sind Fahrwege nur selten überdacht und daher von Niederschlag direkt betroffen. Daher können sich alle Wetterereignisse negativ auf den ÖV auswirken, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden. In Tabelle 1 werden verschiedene Wetterphänomene vorgestellt und deren Schwellenwerte genannt. Die dargestellten Werte beziehen sich auf Europa.

Tabelle 1 Wetterphänomene (Vajda, Tuomenvirta et al. 2014, S. 175)

Wetterphänomen	Messgröße	Schwellenwerte zur Ausprägung		
		Erste Schwelle	Zweite Schwelle	Dritte Schwelle
Schneefall	Schneefall	≥ 1 cm/24 h	≥ 10 cm/24 h	≥ 20 cm/24 h
Kälte	Mittlere Tagestemperatur	≤ 0 °C	≤ -7 °C	≤ -20 °C
Hitze	Tageshöchsttemperatur	≥ 25 °C	≥ 32 °C	≥ 43 °C
Starkregen	Niederschlagsmenge	≥ 30 mm/24 h	≥ 100 mm/24 h	≥ 150 mm/24 h
Sturm	Windgeschwindigkeit	≥ 17 m/s	≥ 25 m/s	≥ 32 m/s
Blizzard	Mischform aus Kälte, Niederschlag und Sturm.			

Auffällig ist, dass vor allem die erste Schwelle in Deutschland bei allen Wetterphänomenen oft erreicht wird. Je nach Region können die Ausprägungen keine oder sehr hohe Konsequenzen haben. In Regionen mit hohen Niederschlägen sorgt ein Überschreiten des ersten Schwellenwertes für weniger Störungen, als in trockenen Regionen. Das zeigt, wie angepasst und resilient bestimmte Regionen an ihre

vorherrschenden klimatischen Bedingungen sind. Die Vulnerabilität in diesen Regionen ist gering, da bereits die konstitutionelle Resilienz vorhanden ist.

Die Auswirkungen der Wetterereignisse sind abhängig von folgenden Faktoren (Vgl. Enei, Doll et al. 2011, S. 21):

- Typ, Funktion und Ausstattung der betroffenen Verkehrsinfrastruktur
- Geografische und topografische Lage
- Art und Dauer der Störung

Alle in Tabelle 1 genannten Wetterphänomene können negative Auswirkungen auf den Verkehr haben. Regen bis 30 mm/24 h verringert beispielsweise die Sichtweite und reduziert die Haftung von Reifen, da sich auf der Fahrbahn Wasser staut. Beim Überschreiten des zweiten Schwellenwertes von 100 mm/24 h kann es zu Überflutungen von Unterführungen und Straßen in Senken kommen. Diese Auswirkungen verschlimmern sich bei Regen über 150 mm/24 h. Neben weitreichenden Überschwemmungen kann es auch zu Erdbeben oder Schlammlawinen kommen. Dadurch kann großer Schaden an Infrastruktur entstehen (vgl. Vajda, Tuomenvirta et al. 2014, S.177). Die in Tabelle 1 aufgeführten Wetterereignisse können im Untersuchungsgebiet in Deutschland auftreten. Die Auswirkungen aller Wetterereignisse befinden sich ausführliche in Anhang 1.

Neben dem Wetter wird der ÖV auch durch Naturereignisse beeinflusst. Diese können durch das Wetter bedingt sein (z. B. durch ausbleibenden Niederschlag und Hitze, die zu Dürre und Bränden führen können) oder durch andere Faktoren wie geologische Prozesse.

Folgende Naturereignisse sind für den ÖV, aber auch für Verkehr allgemein, relevant (Vgl. Vale und Campanella 2005, S. 6; Vgl. BMI 2009, S. 7):

- Busch- und Waldbrände
- Blitzschlag
- Dürre
- Erdbeben
- Überflutungen (durch Niederschlag oder Sturmfluten)
- Tsunami

- Vulkanausbrüche (Lavastrom und Aschewolke)
- Epidemien und Pandemien (bei Menschen, Pflanzen und Tieren)
- Kosmische Ereignisse (z. B. Energiestürme)

Theoretisch können alle genannten Naturkatastrophen auch in Deutschland auftreten, wobei die Eintrittswahrscheinlichkeit sehr unterschiedlich ist. Ereignisse mit geringen Wahrscheinlichkeiten sollen hier nicht weiter betrachtet werden. Dazu zählen die geologischen Aktivitäten Erdbeben und Vulkanausbrüche (vgl. CEDIM 2012, online). Aschewolken können zwar insbesondere den Flugverkehr beeinträchtigen⁵, aber dieser fällt nicht in den hier gewählten Untersuchungsbereich innerhalb des ÖV. Auch die weiteren Naturereignisse bleiben mit Ausnahme der Folgenden unberücksichtigt.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen wird auf Überflutungen durch hohe Niederschlagsmengen liegen, da dadurch in Deutschland große Schäden entstehen (s. Kapitel 4.2.3).

Die Auswirkungen von Epidemien und Pandemien auf den ÖV betreffen vor allem das Personal, welches beim Unterschreiten kritischer Werte den Betrieb nicht mehr komplett aufrechterhalten kann. Im Zusammenhang mit dem Demografischen Wandel wird mangelhafte Personalausstattung bzw. ein hoher Krankenstand in den weiteren Kapiteln behandelt.

3.2 Einfluss des Klimawandels

Betrachtet man die Extremwetterereignisse seit dem Jahr 2000 so fällt auf, dass eine Häufung sogenannter Jahrhundertereignisse stattfindet: Der Jahrhundertsommer 2003, die Jahrhunderthochwasser 2002 und 2013. Am geringen Abstand von nur elf Jahren lässt sich erkennen, dass Extremereignisse keinesfalls nur einmal im Jahrhundert auftreten. Die Bezeichnung „Jahrhunderthochwasser“ ist daher problematisch, da nach solch einer Überschwemmung ein falsches Sicherheitsgefühl entsteht. Da statistisch nur mit einem Wiederauftreten im Hundertjahresrhythmus gerechnet wird, erscheinen beispielsweise Wiederaufbaumaßnahmen in Überschwemmungsgebieten sinnvoll.

⁵ Die weitreichenden Auswirkungen eines Vulkanausbruchs ließen sich im April 2010 beobachten, als der Ausbruch des Eyjafjallajökull auf Island den Flugverkehr in Mitteleuropa teilweise zum Erliegen brachte.

Zudem fühlen sich Nichtbetroffene hochwassersicher. Dadurch können Hochwasserschutzmaßnahmen unterbleiben und später Überschwemmungen ermöglichen, z. B. in Magdeburg Rothensee 2013 (s. Kapitel 4.2.1.1). Die Häufung von Extremwetterereignissen wird an dieser Wiederholung einer Jahrhundertflut innerhalb von elf Jahren gezeigt.

Diese Steigerung von extremen Wetterereignissen lässt sich seit 1950 beobachten und in klare Verbindung zum human beeinflussten Klimawandel setzen. Es ist wahrscheinlich, dass sich durch menschlichen Einfluss die Frequenz und Intensität von Hitzewellen verdoppelte. Generell ist es wahrscheinlich, dass die globale Erwärmung bis 2100 2°C oder mehr betragen wird (IPCC 2014, S. 8 f.). Neben dieser Zunahme von extremer Hitze wird in Abbildung 2 beispielhaft die Entwicklung der Frequenz von Starkregenereignissen deutlich.

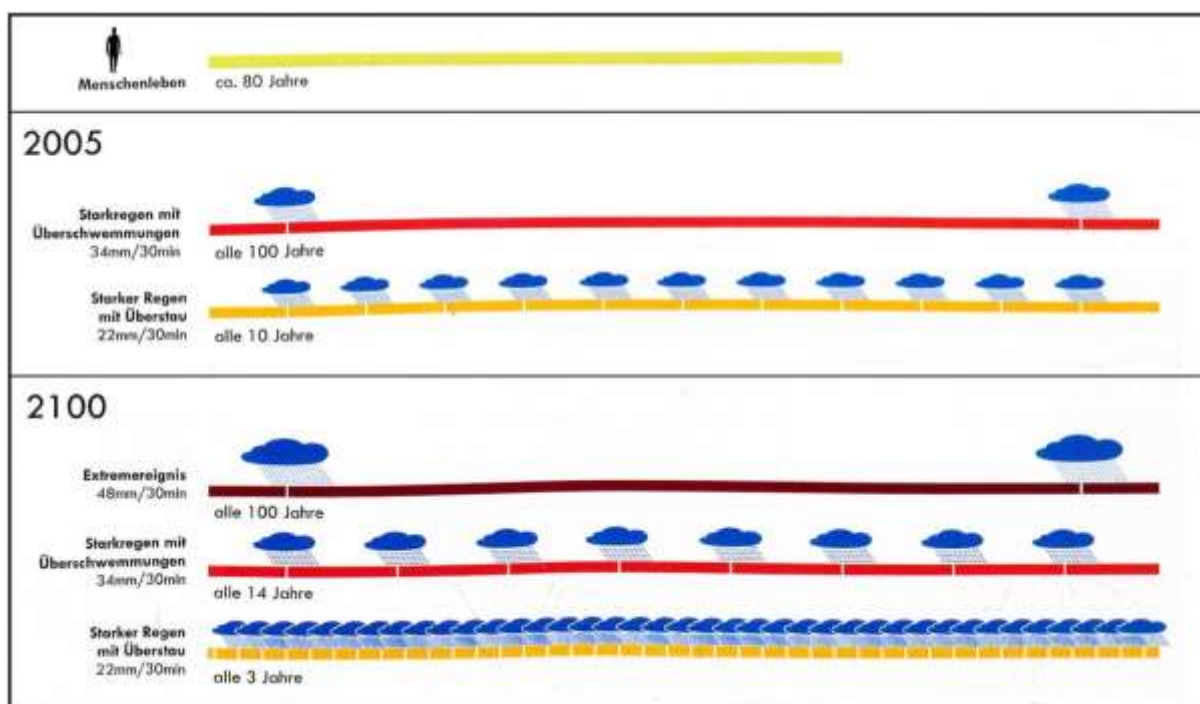


Abbildung 2 Erhöhung der Starkregenhäufigkeit in Deutschland (verändert, nach Vallée 2013, S. 427)

Die Abbildung zeigt, dass es zu einer starken Zunahme der Häufigkeit von Starkregenereignissen kommen wird. Auch die Intensität der Ereignisse nimmt zu, so dass es zu Niederschlägen von 48 mm innerhalb von 30 Minuten kommen wird (vgl. Vallée 2013, S. 426–428). Damit steigt das Risiko sowohl für eine direkte Überflutung von Verkehrsinfrastruktur durch unzureichenden Abfluss am Ort des Niederschlags, als

auch für Überflutungen am Unterlauf von Bächen und Flüssen. Bereits heute lassen sich deutliche Auswirkungen des Klimawandels hinsichtlich von Hochwasser an Großstädten entlang von Flussläufen erkennen (vgl. adelphi, PRC et al. 2015, S. 389). Ein Überblick über potentielle Schäden an Verkehrsinfrastruktur durch Hochwasser wird in Anhang 2 dargestellt.

Die generell wachsende Bedrohung durch Wetterereignisse beweist die Notwendigkeit einer höheren Resilienz des ÖV gegen diese Einflüsse. Da vor allem die Infrastruktur sehr langlebig ist, müssen die Folgen des Klimawandels in der Planung berücksichtigt werden.

Der Haupttreiber des Klimawandels ist die Emission von Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid (CO₂). Trotz der Unaufhaltsamkeit des Klimawandels kann eine Reduzierung dieser Gase positive Effekte haben und für eine Verlangsamung des Prozesses sorgen (vgl. IPCC 2014, S. 8–13). Der ÖV kann hier eine Schlüsselrolle spielen, da durch ihn die Kohlenstoffdioxidemissionen reduziert werden. Weltweit gehen 15% der CO₂-Emissionen auf Verkehr zurück. In den USA wachsen die Emissionen im Verkehr im Vergleich zu anderen Emittenten am stärksten und liegen bei etwa 28% (vgl. Newman, Beatley et al. 2009, S. 86–88). Ziel einer resilienten Stadt ist im Rahmen der Mitigation die Einsparung von Treibhausgasemissionen. Dadurch sinkt auch die Abhängigkeit vom Öl. Ein funktionierender ÖV trägt maßgeblich dazu bei, dass Wege nicht durch den MIV zurückgelegt werden.

3.3 Anthropogene Krisen und Störungen

Neben den vom Menschen nur wenig beeinflussbaren Wetterereignissen⁶ können auch humane Krisen und Störungen schädigend auf den ÖV wirken. Folgende Ereignisse können auftreten (Vgl. Vale und Campanella 2005, S. 6; BMI 2009, S. 7):

- Unfälle (menschliches und technisches Versagen, Industrieunfälle, nukleare Zwischenfälle)
- Bürgerkrieg
- Internationale Kriege

⁶ Der Klimawandel und der humane Einfluss darauf ist in Kapitel 3.2 dargestellt.

- Terrorismus
 - International (z. B. Al-Qaida, ISIS)
 - National (z. B. RAF, Saringas-Anschlag in Tokio durch Aum Shinrikyo)
- Aufstände und Unruhen
- Sabotage
- Gesellschaftliche Prozesse

Die konkreten Auswirkungen auf den ÖV sind insbesondere von der Dauer und der Art des Störereignisses bzw. der Krise abhängig. Die Folgen von vor allem anthropogenen Krisen können weitreichende Ausmaße annehmen. Da die Beschreibung aller Ereignisse sehr umfangreich wäre, wird hier davon abgesehen. Die aktuelle Sicherheitslage in Deutschland lässt eine Eingrenzung der Störereignisse auf Terroranschläge zu. Kriege, Aufstände und Unruhen werden daher nicht genauer betrachtet. Unfälle sind bereits Forschungsgegenstand unterschiedlicher Bereiche und werden hier daher nicht weiter behandelt. Es erfolgt eine Konzentration auf gesellschaftliche Prozesse (Kapitel 3.3.2) und Terroranschläge (Kapitel 3.3.1).

3.3.1 Terroranschläge

Der ÖV wird auch in Europa von Terroranschlägen bedroht. Nicht zuletzt die schweren Bombenanschläge auf Nahverkehrszüge in Madrid vom 11. März 2004⁷ sowie auf U-Bahnen und Busse in London am 7. Juli 2005 verdeutlichen die Attraktivität des ÖV als Anschlagziel für Terrorist_innen. Neben diesen besonders schweren Anschlägen kam es zwischen den Jahren 2000 und 2014 in Europa zu 257 terroristischen Angriffen auf den ÖV⁸. Eine Darstellung nach ausgeführten Attacken und Region ist in Tabelle 2 ablesbar.

⁷ In Madrid starben so 191 Menschen und mehr als 1 800 wurden verletzt (bpb 2014, online)

⁸ Bei dieser Zahl ist zu beachten, dass auch Vorfälle in der Ukraine berücksichtigt werden, die in der momentan unübersichtlichen, (bürger-)kriegsartigen Situation verübt wurden.

Tabelle 2 Attacken auf ÖV nach Region (vgl. START 2015, online)

	Europa ⁸	Westeuropa	Deutschland
Ausgeführte Anschläge	197	54	2
Verhinderte oder fehlgeschlagene Attacken	60	29	6
Terrorattacken insgesamt	257	83	8
Davon als Bombenanschlag	220	58	7
Anteil der Bombenanschläge	85,6 %	69,9 %	87,5 %

Wie zu erkennen ist, wurde in Deutschland in den letzten Jahren nur eine geringe Anzahl von Attacken verübt. Alle acht (versuchten) Anschläge zielten auf Züge oder Infrastruktur der Deutschen Bahn AG (START 2015).

Viele verschiedene Attacken zählen als Terror. Folgend werden terroristische Angriffe aufgezählt (START 2015):

- Mordanschläge
- Überfälle
- Bombenanschlag (beinhaltet Brandanschläge)
- Entführung
- Geiselnahmen
- Sonstige Attacken auf Infrastruktur und andere Einrichtungen

Wie in Tabelle 2 verdeutlicht, werden Bomben- und Brandanschläge am weitaus häufigsten verübt. Da dadurch auch die größten Schäden an Infrastruktur und Fahrzeugen des ÖV entstehen, erfolgt im Weiteren eine ausschließliche Konzentration auf diese Anschlagsart, in Kapitel 5.3 werden entsprechende Maßnahmen vorgestellt.

3.3.2 Gesellschaftliche Prozesse

Weitgehend unabhängig von den bereits beschriebenen Störungen und Krisen können auch andere Prozesse auftreten, deren Auswirkungen auf den ÖV besonders beachtet werden müssen. Als Teil der anthropogenen Krisen verlaufen diese Prozesse meist sehr langsam und können sich über mehrere Jahre bis Jahrzehnte ziehen. Zu diesen Prozessen gehören

- Demografischer Wandel
- Urbanisierung, Landflucht und andere Bevölkerungsbewegungen
- Stadterneuerung
- Strukturwandel

Im Gegensatz zu vielen der bereits genannten Störungen sind diese Prozesse meist erkennbar und vorhersehbar. Sie treten also nicht unvermittelt ein, sondern entwickeln sich langsam. Trotz der vorhandenen Möglichkeit der Reaktion auf die Entwicklung stellen viele soziale Prozesse für den ÖV und die betreibenden Firmen große Probleme dar. Von den dargelegten Prozessen soll der Demografische Wandel genauer betrachtet werden.

Der Demografische Wandel bezeichnet die Veränderung der Zusammensetzung von Gesellschaften, insbesondere der Altersstruktur. In Deutschland ist dabei ein Rückgang der Geburtenrate zu beobachten, wodurch es zu einem Rückgang der Bevölkerung kommen wird. Gleichzeitig geht die Sterberate zurück und die Lebenserwartung steigt. Dadurch erhöht sich der Anteil der älteren Bevölkerung (Schubert und Klein 2011).

Mit der steigenden Altersstruktur steigt auch die Anzahl der krankheitsbedingten Fehltag. Während bei 25- bis 34-Jährigen ein niedriger Krankenstand zwischen 3,1% und 3,5% erkennbar ist, erhöht sich dieser auf 5,1% bis 5,4% bei 45- bis 49-Jährigen und gar 8,0% bis 9,1% bei den 60- bis 64-Jährigen (bpb 2013, online). Ältere Arbeitnehmer_innen sind also anfälliger für Krankheiten und fallen dadurch öfter aus. Durch die Erhöhung des Renteneintrittsalters ist mit einer weiteren Steigerung der Krankenstände zu rechnen. Fehlendes Personal in Betrieb und Steuerung des ÖV kann daher ebenso schädliche Auswirkungen haben wie die Störung von Infrastruktur (s. Kapitel 4.2.2).

Neben den Auswirkungen auf das Personal ändert sich durch den Demografischen Wandel auch die Altersstruktur der Fahrgäste. Das hat zur Folge, dass sich die Nachfrage nach ÖV verschiebt. Es wird weniger Schüler_innen geben und daher vor allem im ländlichen Raum ein Rückgang der Fahrgäste. Zusätzlich schwächt sich der Berufsverkehr ab, da weniger Menschen erwerbstätig sein werden. Jedoch werden mehr ältere Menschen den ÖV nutzen als heute (vgl. Topp 2006, S. 87).

Diese Auswirkungen des Demografischen Wandels können negative Folgen für den ÖV haben, wenn Reaktionen zu spät oder gar nicht erfolgen. Mögliche Strategien zur Erhöhung der Resilienz gegen den Demografischen Wandel werden in Kapitel 5.2 behandelt.

3.4 Wild Cards

Zur Resilienzbeachtung gehört auch die Beachtung von sogenannten „undenkbaren“ Ereignissen. Strenggenommen kann demnach alles passieren: Vom Kontakt zu extraterrestrischem Leben bis hin zum Verbot von Verbrennungsmotoren. Es scheint paradox, undenkbarere Ereignisse zu benennen, daher ist auch die Abschätzung von deren Auswirkungen für den ÖV nicht möglich. Aus diesem Grund werden diese undenkbareren Ereignisse hier nicht weiter verfolgt. Das Konzept der Wild Cards beschreibt ebenfalls unwahrscheinliche, jedoch bekannte Ereignisse.

Wild Cards sind singulär und plötzlich eintretende, überraschende Ereignisse mit umfassenden Folgen (vgl. Mendonça, Pina e Cunha, Miguel et al. 2009, S. 25). Solche Ereignisse waren unter anderem der Terroranschlag am 11. September 2001 oder der Mauerfall 1989. Auch in der aktuellen Abgaskrise bei Dieselfahrzeugen des Volkswagen Konzerns sind Elemente der Wild Card erkennbar, wobei die Folgen insbesondere für Dieseltechnologien noch nicht absehbar sind. Diese in der Literatur auch als „black swan“ bezeichneten Ereignisse sind nicht oder schwer vorhersehbar und können prinzipiell positive und negative Auswirkungen haben. Die meisten der bisher genannten Störungen können auch als Wild Card auftreten. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Folgen des Ereignisses sehr umfangreich sind und Einfluss auf verschiedenen Ebenen, wie Gesellschaft, Wirtschaft und Politik haben. Auf Grund dieser umfassenden Effekte ist eine weitere Betrachtung von Wild Cards in diesem Rahmen nicht möglich. Jedoch greifen auch hier partiell die Resilienzmechanismen kleinerer Störungen und Krisen.

4 Resilienz im öffentlichen Verkehr

Der ÖV ist ein entscheidender Bestandteil der Resilienten Stadt. Dieses Kapitel soll nun die allgemeine Resilienztheorie aus Kapitel 2 in den Kontext zum ÖV stellen. Dazu wird eine eigene Definition von Resilienz aufgestellt. Es folgt eine Darstellung von Folgen bei unzureichender Resilienz. Dabei werden einige der in Kapitel 3 genannten Störungen bzw. Krisen an Beispielen veranschaulicht. Hinzu kommt eine Aufstellung von Kosten, die durch diverse Störungen entstanden sind.

4.1 Definition

Bevor das Konzept der Resilienz im ÖV weiter vertieft werden kann, muss eine Definition dafür bestimmt werden. Dazu werden die verschiedenen Auffassungen aus Kapitel 2.1 kombiniert und auf den ÖV angewendet.

Beim ÖV handelt es sich eher um ein technisches Gebiet. Daher können nicht alle Bestandteile der Definition für die sozio-ökologische Resilienz genutzt werden. Insbesondere die Beachtung von unbekanntem Gefahren ist für diesen Bereich nicht zweckmäßig. Daher muss die Resilienz im ÖV vor allem eine erhöhte Robustheit bedeuten. Absehbare Störungen wie Wetterereignisse und deren Folgen sowie Terroranschläge müssen Priorität haben. Des Weiteren muss der demografische Wandel mit seinen Folgen auf Personal und Fahrgäste beachtet werden. Allgemein kann die Resilienz im ÖV wie folgt definiert werden:

Resilienz ist die Fähigkeit des ÖV, auf Störungen und Krisen so zu reagieren, dass es zu keiner langanhaltenden Unterbrechung des Betriebes kommt. Veränderten Bedingungen muss sich der resiliente ÖV so anpassen, dass seine übergeordneten Funktionen und Eigenschaften erhalten bleiben.

Zunächst erfolgt ein Bezug auf die klassische Robustheit, in dem der Betrieb robust gegen Störungen sein soll. Dabei ist jedoch nicht entscheidend, dass es zu keiner Unterbrechung kommt, sondern dass die Unterbrechung so kurz wie möglich ausfällt und nach Ende der Störung schnell beendet wird. Essentiell ist dabei die Reduzierung

der Vulnerabilität. Der zweite Teil der Definition beschreibt einen anderen Kernbereich der Resilienz – die Anpassungsfähigkeit. Veränderte Bedingungen können hier auch die bereits beschriebenen Krisen enthalten (s. Kapitel 3.3). Wichtig ist, dass der ÖV nicht zwangsläufig so erhalten werden muss, wie er bisher besteht. Je nach Stärke der Veränderungen kann eine komplette Transformation von Teilen des ÖV notwendig sein. Dabei müssen aber die übergeordneten Funktionen⁹ und Eigenschaften des ÖV erhalten bleiben.

In Anlehnung an die vier Dimensionen für die Resiliente Stadt können im ÖV fünf Dimensionen unterschieden werden. In Abbildung 3 sind diese dargestellt.



Abbildung 3 Dimensionen der Resilienz im ÖV (eigene Darstellung)

Die Dimensionen beinhalten Infrastruktur, Fahrzeuge, Umwelt, Prozesse/Betrieb und Menschen. Zur Infrastruktur gehören unter anderem die Fahrwege, Stromversorgungen und andere technische Einrichtungen, die den Betrieb ermöglichen. Sie ist der Teilbereich, der besonders anfällig für Natur- und Wetterereignisse ist. Daher muss die Infrastruktur insbesondere auf wahrscheinliche Störungen vorbereitet und robust sein.

Die Fahrzeuge haben im Gegensatz zur Infrastruktur den Vorteil der Beweglichkeit. Bei einem Wetterereignis wie Sturm oder Überschwemmungen können sie (teilweise in

⁹ Als Funktion kann hier beispielsweise die Daseinsfunktion laut §1 RegG gesehen werden. Jedoch ist auch diese Daseinsfunktion keine unveränderliche Konstante und eher eine „wissenschaftliche Idee ohne verbindlichen Charakter“ (Gegner und Schwedes 2014, S. 63).

begrenztem Maße) in Sicherheit gebracht werden. Störpotential besteht hier vor allem durch die Interaktion mit dem Menschen, also Personal und Fahrgästen.

Die Umweltdimension beinhaltet vor allem die Nutzung von Ressourcen und die Verminderung von Treibhausgasemissionen. Als Bestandteil der Resilienten Stadt muss auch der ÖV einen Beitrag zur Mitigation tragen. Zur Resilienz im Umweltbereich gehört also die zunehmende Nutzung nachwachsender Rohstoffe auch im ÖV.

Die Resilienz in Bezug auf Prozesse und Betrieb beinhaltet auch das Unternehmen, welches den ÖV betreibt. Resilienz bedeutet hier, dass Störungen die Prozesse nicht nachhaltig schädigen dürfen bzw. den Betrieb langanhaltend stoppen können. Zudem muss sich das Unternehmen auf sich ändernde Rahmenbedingungen einstellen.

Auf den Menschen bezogen, betrifft die Resilienz beim ÖV sowohl das Personal, als auch die Fahrgäste. Der Umgang mit dem Demografischen Wandel ist dabei in beiden Gruppen das entscheidende Kriterium für die Resilienz.

Es bestehen diverse Verbindungen zwischen den verschiedenen Dimensionen, da der Mensch beispielsweise den Betrieb beeinflusst und die Fahrzeuge die Umwelt. Daran ist erkennbar, dass die Resilienz nicht nur Teilbereiche des ÖV betrifft, sondern das gesamte System betrachtet werden muss. Je nach Störung lassen sich die betroffenen Bereiche zwar eingrenzen, trotzdem darf die Auswirkungen auf andere Segmente nicht vernachlässigt werden.

4.2 Beispiele von Folgen fehlender Resilienz

Fehlende Resilienz führt bei Störungen und Krisen mitunter zu hohen Schäden an beispielsweise der ÖV-Infrastruktur, wodurch der Betrieb beeinträchtigt wird. Momentan ist der ÖV vor allem von Hochwasserereignissen regelmäßig betroffen. Dass der ÖV nur in begrenztem Maße resilient ist, soll folgend anhand dreier Beispiele untermauert werden. Die herangezogenen Ereignisse sind aus dem Sommer 2013 und thematisieren einerseits Hochwasser und andererseits Folgen von akutem Personalmangel, der auch im Zusammenhang mit dem Demografischen Wandel und daraus folgenden hohen Krankheitsständen steht.

4.2.1 Elbehochwasser Juni 2013

Im Frühsommer 2013 ereignete sich im Einzugsgebiet der Elbe ein folgenschweres Hochwasser. Zunächst werden Ursachen und Auswirkungen des Elbehochwassers beschrieben. Wie schon 2002 entstand das Hochwasser nach den ergiebigen Niederschlägen einer Vb-Wetterlage¹⁰. Im Erzgebirge regnete es innerhalb von 96 Stunden über 190 mm/m^2 (vgl. Stein und Malitz 2013, S. 6 f.). Obwohl dadurch noch nicht die höchste Schwelle für Niederschläge erreicht wurde (150 mm/24 h , s. Kapitel 3.1), lösten neben anderen Ursachen diese Niederschläge ein schweres Hochwasser an der Elbe und ihren Nebenflüssen aus. Die Signifikanz des Hochwassers lässt sich schon an der statistischen Wiederholungsrate von 150 bis 500 Jahren erschließen. Insgesamt fiel im Einzugsgebiet der Elbe im Mai 233% des durchschnittlichen Niederschlags (vgl. LHW 2014, S. 7). Exemplarisch für die hohen Schäden werden die Fälle der Magdeburger Verkehrsbetriebe GmbH & Co. KG (folgend als MVB bezeichnet) und der Deutschen Bahn AG betrachtet.

4.2.1.1 Magdeburger Verkehrsbetriebe

Die MVB betreiben Teile des ÖPNV in Magdeburg. Dazu zählen neun Straßenbahnlinien und 14 Buslinien (vgl. MVB 2015, online). Die Betriebshöfe der Straßenbahnen befinden sich im nördlichen Stadtteil Rothensee (Betriebshof Nord) und im Süden der Stadt in Westerhüsen. Magdeburg ist die Landeshauptstadt von Sachsen-Anhalt mit insgesamt 232 660 Einwohnern (Stand 31.12.2012, AfS 2013, S. 7). Die Stadt wird von Süden nach Norden von der Elbe durchflossen. Ein Satellitenbild von Magdeburg während der Flut ist in Anhang 3 einsehbar.

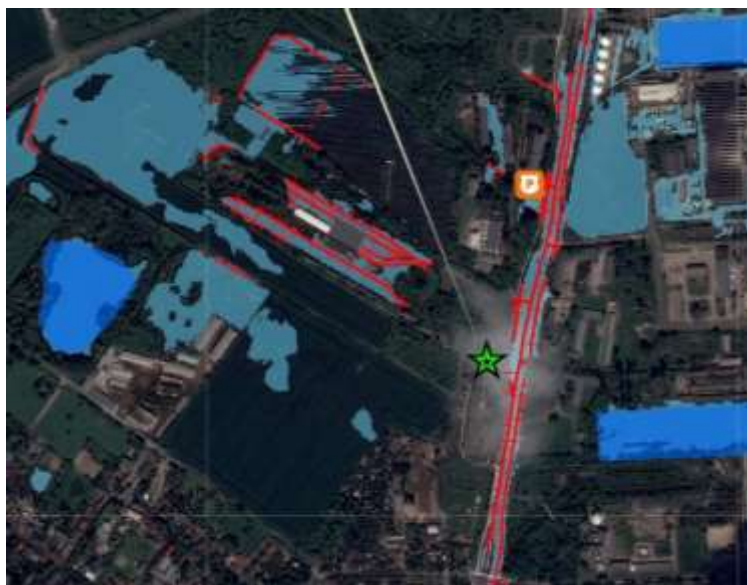
Der Pegelstand erreichte am Sonntag, 9. Juni 2013, seinen Scheitelpunkt bei 7,47 Metern an der Strombrücke. Damit lag der Scheitel 67 cm über dem Maximalwert des vorhergehenden „Jahrhunderthochwassers“ vom August 2002 (LHW 2014, S. 16). Durch das neue Hochwasser wurden einige Stadtgebiete von Magdeburg überschwemmt, auch Teile der Infrastruktur der MVB waren betroffen. So konnte ab dem 5. Juni der Betriebshof in Westerhüsen nicht angefahren werden. Im Bereich des Salbker Platzes

¹⁰ Eine Vb-(5b)-Wetterlage ist eine eher seltene Wetterlage und kann besonders im Sommer im östlichen Teil Deutschlands zu großen Regenmengen führen. Die Schwerpunkte der Niederschläge sind dabei die Staugebiete der Alpen und östlichen Mittelgebirge (vgl. Deutscher Wetterdienst 2005, online).

wurden die Gleise zu diesem Zeitpunkt auf die Überflutung vorbereitet, indem teilweise technische Ausrüstung entfernt wurde. Die Straßenbahnen wurden dazu in den nördlichen Betriebshof umgelegt oder auf freier Strecke abgestellt. Der Betriebshof in Rothensee wurde jedoch selbst am 8. Juni überflutet. Straßenbahnen und technisches Gerät konnten noch nachts gesichert werden indem sie auf höher gelegene Strecken gefahren wurden (vgl. Rieß 2013, online). Bis zur Freigabe der Strecke nach Westerhüsen am 16. Juni waren die MVB daher ohne funktionsfähigen bzw. ans Netz angeschlossenen Betriebshof. Alle Bahnen wurden auf Abschnitten des Süd-, West-, und Europarings geparkt. Durch die Blockade dieser Verbindung sowie der Überflutungen konnten nur zwei von neun Linien regulär bedient werden (vgl. MVB 2013a, online).

Durch das Hochwasser wurden mehrere Gleisanlagen überflutet. Kurzfristig betraf das den Salbker Platz, dessen elektrische Anlagen jedoch vorher entfernt wurden und so eine schnelle Wiederaufnahme des Betriebs gewährleistet wurde. Hier zeigt sich ein Beispiel für gute Resilienz, da die Unterbrechung des Betriebs nur auf die Dauer der Störung selbst begrenzt war. Da es zu keiner Beschädigung der Elektronik kam, konnte der Betrieb schnell wieder aufgenommen werden.

Größere Schäden entstanden an den Gleisanlagen auf dem August-Bebel-Damm an der Verbindung zum Barleber See, der Wendeschleife Rothensee, dem Streckenabschnitt zum Herrenkrug Park und am Betriebshof Nord (vgl. Rieß 2014, online). In diesen Fällen wurden die Gleise über- und unterspült sowie Fahrstromanlagen (Unterwerke) und Fahrsignalanlagen beschädigt. In Abbildung 4 sind die Überflutungen des Betriebshofes dargestellt.



Legende:

Rote Markierung: Überflutete Straße
oder Gleisanlagen

Blau-grüne Flächen: Überflutete
Gebiete

Blaue Flächen: Gewässer

Grüner Stern, oranges „P“: andere
Kritische Infrastruktur

Abbildung 4 Satellitenbild vom 10. Juni vom Betriebsbahnhof Nord (Ausschnitt, Hervorhebungen im Original, ©DLR 2013b, online)

Der Betriebsbahnhof liegt in der Mitte des Bildes, gut erkennbar durch ein weißes Dach. Die rote Markierung hebt die überfluteten Gleise im Betriebsbahnhof sowie auf dem August-Bebel-Damm (rechts im Bild) hervor.

Für die gesperrten Streckenabschnitte der Linien 10 (in Rothensee) und 6 (im Herrenkrug) wurde ein Schienenersatzverkehr mit Bussen eingerichtet. Für die Linie 10 galt dieser ab der Haltestelle Pettenkoflerstraße. Erst ab 28. Oktober 2013 wurden einzelne Fahrten für Fahrgäste zur Haltestelle Schule Rothensee freigegeben. Dabei handelte es sich nicht um regulären Betrieb der Linie, sondern um Fahrten anderer Linien zum Betriebsbeginn und -ende zum Betriebsbahnhof. Es wurde kein Fahrplan erstellt, Fahrgäste konnten sich also nicht im Vorfeld über Abfahrten informieren (vgl. MVB 2013b, online). Ein planmäßiger Verkehr (durchgehend zum Barleber See) wurde erst am 2. Juni 2014 wieder aufgenommen. Jedoch bestehen weiterhin Einschränkungen auf der Strecke. Durch Schäden an unterirdisch verlegten Kabeln darf sich nur eine Straßenbahn im Streckenabschnitt befinden. Daher werden die Fahrten nur im 20-Minuten-Takt angeboten anstatt im 10-Minuten-Takt wie vor der Elbeflut (vgl. MVB 2014a, online). Durch die großen Schäden wird ein Neubau der Strecke notwendig, der Bau wird voraussichtlich 2019 beginnen. Der Baubeginn kann erst zu diesem Zeitpunkt erfolgen, weil vorher Planfeststellungsverfahren und europaweite Ausschreibungen für Bau- und Planungsleistungen durchgeführt werden müssen. Außerdem muss der

Magdeburger Stadtrat dem Bau (mit ggf. geänderter Gleisführung) zustimmen, bevor das Planfeststellungsverfahren beginnen kann (vgl. Harter 2015). Die anhaltende Beeinträchtigung betrifft die Stadtteile Rothensee, Gewerbegebiet Nord, Industriehafen und Barleber See. Neben den 2 990 Anwohner_innen sind vor allem die Beschäftigten betroffen. Allein bei einem großen Windkraftanlagenhersteller arbeiten rund 5 000 Mitarbeiter_innen (vgl. AfS 2013, S. 7; vgl. Weber 2015). Zudem wird durch den vergrößerten Takt auch die Haltestelle Eichenweiler mit Umsteigemöglichkeit zum SPNV seltener bedient.

Die Strecke im Herrenkrug konnte erst nach neun monatiger Sperrung am 8. März 2014 wieder in Betrieb gehen. Das zerstörte Gleichrichterunterwerk wurde provisorisch neu errichtet und die Signalanlage repariert (vgl. MVB 2014b, online). Die Hochwasserschäden werden hier mit 2,1 Millionen Euro beziffert, welche durch Fördergelder aus dem Fluthilfefond beglichen wurden (vgl. Rieß 2015, online). Von den Auswirkungen waren zwar weniger Anwohner_innen oder Beschäftigte betroffen als in Rothensee, jedoch fiel durch die Unterbrechung der Linie auch die Umsteigemöglichkeit in den SPNV am Haltepunkt Herrenkrug aus.

Die Höhe des Schadens am Betriebshof Nord betragen etwa 60 Millionen Euro, was einem wirtschaftlichen Totalschaden entspricht. Der Wiederaufbau soll 2021 abgeschlossen sein. Überlegungen, einen neuen Betriebshof in geschützterer Lage zu bauen, wurden verworfen. Vielmehr sollen auf dem Gelände Hochwasserschutzmaßnahmen ergriffen werden (vgl. Rieß 2015, online; vgl. Harter 2013, online).

Insgesamt entstanden der MVB Schäden in Höhe von bisher 130 Millionen Euro. Die langen Sperrungen der Strecken wurden nicht nur durch die Reparaturen verursacht, sondern auch durch die vorgeschriebenen europaweiten Ausschreibungen für die Bauleistungen sowie die Bearbeitungszeit von Förderanträgen (vgl. Harter 2013, online). Da der Geschäftsbericht der MVB für das Jahr 2013 noch nicht veröffentlicht ist, können keine weiteren Aussagen zur Schadenszusammensetzung getroffen werden. Es fehlt beispielsweise eine Kostenaufstellung zu Vandalismusschäden, die bei der Lagerung der Straßenbahnen außerhalb von Betriebshöfen entstanden sind. Des Weiteren ist mit entgangenen Einnahmen zu rechnen, da vermutlich die Zahl der

Fahrgäste im Norden gesunken ist. Durch die langen Beeinträchtigungen ist auch eine Auswirkung auf Zeitkartenverkäufe möglich, die sonst bei kurzen Betriebsstörungen nicht auftreten. Nicht beziffern lässt sich außerdem der Imageverlust durch die lange Unterbrechung der Linie 10 und die darauf folgende Verärgerung der Anwohner_innen und Beschäftigten der betroffenen Stadtteile.

An diesem Beispiel der Auswirkungen der Elbeflut 2013 auf die MVB lässt sich erkennen, wie wichtig Resilienz ist¹¹. Straßenbahnstrecken, die vorher auf die Überflutung vorbereitet wurden (am Salbker Platz) konnten nach Ende der Störung unmittelbar wieder nutzbar gemacht werden. Durch deren Ausbau wurden sensiblen Bauteile nicht wie auf den anderen Strecken beschädigt oder zerstört. Ebenfalls positiv zeigte sich die Aufrechterhaltung des Betriebs ohne erreichbaren Betriebshofs, sodass Unterbrechungen des Straßenbahnverkehrs nur dort stattfanden, wo die Schienen überflutet oder Brücken nicht befahrbar waren. Die Reorganisation des Fahrbetriebes mittels kleinerer Wartungsarbeiten an den auf der Strecke abgestellten Bahnen zeugt von einer soliden Organisation und Kompetenz zur Problemlösung, die einen durchgehenden Betrieb ermöglichten. Bei einem längeren Ausfall der Wartungsmöglichkeit in den Betriebshöfen hätten jedoch die Straßenbahnen nicht weiter verkehren können.

4.2.1.2 Bahnstrecke Berlin-Hannover

Ebenfalls durch das Elbehochwasser im Juni 2013 in Sachsen-Anhalt kam es zu einer Überflutung von Bahnstrecken der Deutschen Bahn AG. Ein Deichbruch bei Fischbeck am 10. Juni über eine Länge von 50 Metern war die Ursache für die Überschwemmung der Gleise. Innerhalb von fünf Stunden hatte das Wasser die Hochgeschwindigkeitsverkehrsstrecke (HGV-Strecke) 6185 (Bauart Feste Fahrbahn) erreicht, ebenfalls betroffen war die benachbarte Stammstrecke 6107 (Schotteroberbau). Über eine Länge von fünf Kilometern zwischen Stendal und Rathenow wurden die Gleisanlagen mehrere Tage von Wasser überströmt. Abbildung 5 illustriert beispielhaft das Ausmaß der Überflutung. Rechts neben der elektrifizierten

¹¹ Auswirkungen auf Buslinien und Fähren wurden wegen des Schwerpunktes auf die Straßenbahn vernachlässigt.

Strecke 6185 ist die Stammstrecke 6107 unter den Wassermassen nicht mehr zu erkennen (vgl. Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 22 f.).



Abbildung 5 Fotoaufnahme der überfluteten Strecken vom 11. Juni 2013 (©Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 22)

Die HGV-Strecke zwischen Berlin und Hannover blieb vom 10. Juni bis zum 4. November gesperrt (vgl. Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 22). Von der Sperrung waren täglich rund 10 000 Fahrgäste betroffen (vgl. ZV 2014, S. 17). Die Stammstrecke konnte am 9. September wieder freigegeben werden. Hier verkehrten neben den planmäßigen Regionalzügen noch einzelne Fernzüge von Berlin nach Hannover über Wolfsburg (vgl. DB ML AG 2013).

Bereits im Juni wurde ein Interimsfahrplan erstellt, dessen finale Version am 29. Juli in Kraft trat. Betroffen waren dabei die Linien 10 bis 12 von Berlin Richtung Hannover bzw. Frankfurt sowie internationale Verbindungen Richtung Amsterdam (Linie 77). Durch die Umleitungen u. a. über Magdeburg entstanden Abweichungen zur regulären Fahrzeit von bis zu 60 Minuten. Das Fahrplankonzept mit Umleitungen ist in Abbildung 6 dargestellt.

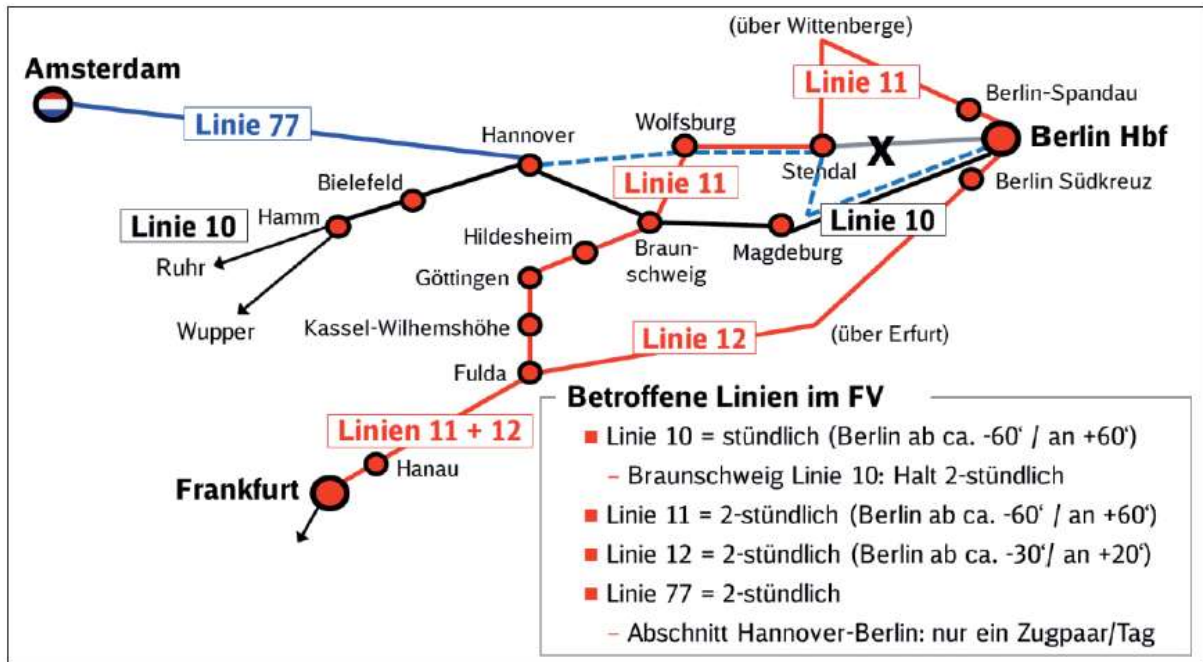


Abbildung 6 Ersatzfahrplan zur Umfahrung der gesperrten Strecke (©Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 23)

Nach dem Rückgang des Wassers erfolgten Reinigungsarbeiten sowie die Begutachtung der Gleiskörper. Dabei musste eine Gesamtbewertung der Leistungsteile Feste Fahrbahn durchgeführt werden, da große Schäden durch Ausspülungen, Erosion und Hohlraumbildung vermutet wurden. Durch diverse Testuntersuchungen (z. B. mit Georadar und Testbohrungen) konnten keine Schäden am Unterbau oder der Festen Fahrbahn festgestellt werden. Vom Hochwasser beschädigt wurden jedoch Leit- und Signalanlagen. 180 Signale und Oberleitungsmasten wurden kontrolliert und gegebenenfalls repariert. Zudem mussten 100 Kilometer Linienleiter für die linienförmige Zugbeeinflussung neu verlegt werden. Diese umfassenden Untersuchungen und Reparaturen machten die fünfmonatige Sperrung der Strecke nötig (vgl. Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 23–25).

Laut Geschäftsbericht des Jahres 2013 der Deutschen Bahn AG (2014a, S. 96-98) hatte das Hochwasser weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Fernverkehr. Durch die Sperrung und einhergehende Fahrzeitverlängerung wurden viele Fahrgäste verloren wodurch insgesamt geringere Beförderungszahlen erzielt wurden. Zudem kam es zu Engpässen bei der Fahrzeugbereitstellung, da Umlaufzeiten nicht eingehalten werden konnten und es teilweise zu umständlichen Rückführungen der Züge kam. Insgesamt entstanden Kosten in Höhe von etwa 250 Millionen Euro (vgl. Doll 2014, online). Die

Schäden wurden zu 100 Millionen Euro vom Bund getragen, weitere wurden über Versicherungen reguliert (vgl. DB AG 2014a, S. 147-150).

Eine andere folgenschwere Beschädigung von kritischer Infrastruktur in der Region konnte verhindert werden. Im Raum Wittenberge wurde ein Umspannwerk ebenfalls vom Hochwasser der Elbe bedroht. Durch den Einsatz der Bundeswehr wurde der Bereich gesichert. Bei einer Zerstörung des Umspannwerkes wäre der Bahnstrom in der Region ausgefallen. Dadurch hätten im Raum Wittenberge keine elektrisch betriebenen Züge fahren können. Auch die Umleitungsstrecke für Linie 11 wäre betroffen gewesen (vgl. ZV 2014, S. 17).

Wie bereits der Fall der MVB zeigt der Vorfall die fehlende Resilienz in der Infrastruktur auf. Während der Betrieb flexibel auf die Störung reagieren konnte, blieb die Infrastruktur auch nach der Störung für lange Zeit nicht benutzbar. Die Freigabe der Stammstrecke etwa zwei Monate vor der HGV-Strecke könnte auf eine bessere Resilienz dieser Bauart (Schotteroberbau) gegenüber Fester Fahrbahn schließen lassen. Jedoch muss beachtet werden, dass diese Strecke durch fehlende Elektrifizierung, Geschwindigkeitsbeschränkungen und alte Signaltechnik weniger leistungsfähig ist.

Die lange Sperrung der HGV-Strecke wurde mit der fehlenden Erfahrung begründet, da bisher keine Strecke mit Fester Fahrbahn einer Überflutung ausgesetzt war. Eine kürzere Sperrung bei zukünftigen Überschwemmungen scheint jedoch unwahrscheinlich, da auch in diesen Fällen eine Überprüfung der Gleisanlagen stattfinden muss. Die Schadensfreiheit an der Festen Fahrbahn war letztendlich auch auf die langsame Überflutung und niedrige Überflusgeschwindigkeit zurückzuführen (vgl. Hebenstreit, Schwurack et al. 2014, S. 23-25). Eine schnellere Überflutung birgt also potentiell höhere Risiken.

Eine Parallele zum Fall der MVB ist auch das Schadensausmaß auf Grund zerstörter Leit- und Sicherungstechnik. Ein Problem war dabei die linienförmige Zugbeeinflussung. Diese benötigt unter anderem ein zwischen den Schienen verlegtes Kabelpaar, auch weitere Technik befindet sich im oder auf dem Boden. Eine Darstellung von Gleisen mit linienförmiger Zugbeeinflussung erfolgt in Abbildung 7.



Abbildung 7 Linienzugbeeinflussung auf Fester Fahrbahn (Jailbird 2005, CC BY-SA 2.0)

Selbst bei sofortiger Wiederverfügbarkeit der Festen Fahrbahn wäre ein Betrieb auf Grund der Schäden an Leit- und Sicherungsinfrastruktur nicht möglich gewesen.

Neben den negativen Aspekten zur Resilienz gibt es auch positiv Ansätze. Es konnte ein Interimsfahrplan erstellt werden, so dass die Verbindung von Berlin in den Westen und Süden Deutschlands weiterhin möglich blieb. Die Sperrung der Strecke führte also nicht zu einem Totalausfall der Verbindungen. Auch die Wiederaufnahme des Verkehrs auf der Stammstrecke mit dort außerplanmäßig verkehrenden Fernzügen ist eine gute Reaktion auf die Störung. Jedoch bestehen beim Betrieb auf der Stammstrecke Einschränkungen für die Fahrgäste. Statt der gewohnten ICE-Züge konnten nur weniger komfortablere lokbespannte Ersatzzüge verkehren. Durch die Geschwindigkeitsbegrenzungen kam es zudem zu Fahrzeitverlängerungen.

Trotzdem verdeutlicht das Beispiel, dass Bereich Prozesse/Betrieb wesentlich resilienter als der Bereich Infrastruktur. Die Bereiche können sich teilweise ergänzen und dadurch Auswirkungen von Störungen abmildern.

4.2.2 Personalprobleme am Stellwerk Mainz

Neben den Hochwasserschäden im Sommer 2013 ereignete sich im August 2013 eine weitere Krise mit komplett anderen Ursachen. Durch akuten Personalmangel in der Fahrdienstleitung war im August der Hauptbahnhof Mainz nicht komplett an das Netz angeschlossen. Im Stellwerk Mainz sind alle 15 vorhandenen Stellen besetzt. Jedoch waren im August von den 15 Angestellten vier erkrankt und drei im Urlaub. Auch alle

drei Fahrdienstleiterhelfer_innen waren durch Urlaub und Krankheit nicht verfügbar. Dadurch kam es zu Ausfällen von 40% der Nahverkehrs- und 50% der Fernverkehrsverbindungen. Abends und nachts wurde der Bahnhof nicht bedient (vgl. Barner 2013, S. 5). Die Störung des Betriebs dauerte mit wechselnder Intensität den ganzen August. Durch diesen Vorfall wurde bekannt, dass bei der DB Netz AG die Personaldeckung in der Fahrdienstleitung zu gering war. Es fehlten rund 1 000 Fahrdienstleiter_innen, zudem waren schon eine Millionen Überstunden angefallen. Des Weiteren werden binnen der nächsten 15 Jahre 18 000 Mitarbeiter_innen in den Ruhestand gehen. Die aktuellen Ausbildungszahlen reichen allerdings nicht aus, um fehlenden Stellen zu besetzen (vgl. Stoller 2013, online).

In diesem Vorfall werden mehrere Störungen und Krisen aus Kapitel 3 angesprochen, beispielsweise war Krankheit eine der Hauptursachen für die Ausfälle. Zwar lag hier keine Epidemie oder Pandemie vor, jedoch werden die Auswirkungen verdeutlicht: Der Ausfall von Infrastruktur durch das Fehlen von Kontrollmitarbeiter_innen. Insbesondere bei der Fahrdienstleitung besteht das Problem, dass Fahrdienstleiter_innen oftmals nur an einem bestimmten Ort eingesetzt werden können, da sie mit den Eigenarten anderer Streckenabschnitte nicht vertraut sind.

Eine weitere Ursache des Vorfalls ist der demografische Wandel. Durch die steigende Anzahl an älteren Mitarbeiter_innen steigt das Risiko einer Erkrankung. Zudem ist es problematisch, wenn die Anzahl der in den Ruhestand gehenden Mitarbeiter_innen bei gleichbleibendem Arbeitsaufkommen höher ist, als die Neueinstellungen. Dieser Prozess vollzieht sich schleichend. Vorkommnisse wie in Mainz sind erste weithin sichtbare Signale dieses Problems. Die Deutsche Bahn AG hatte schon vor August 2013 ein Programm zur vermehrten Neueinstellung und Ausbildung gestartet. Auch durch das große negative Medienecho wirkten die Probleme im Stellwerk Mainz wie ein Katalysator, so dass in kurzer Zeit 800 neue Fahrdienstleiter_innen eingestellt wurden, von denen 340 eingeplant waren. Zudem sollen vermehrt Mehrfachqualifizierungen für unterschiedliche Stellwerke stattfinden (vgl. DB AG 2014b)

Insbesondere die letzte Maßnahme ist wichtig für die Steigerung der Resilienz. Durch die höhere Flexibilität können Fahrdienstleiter_innen in verschiedenen Stellwerken eingesetzt werden. Bei einem regionalen Ausfall von Mitarbeiter_innen (durch

Epidemien oder andere Katastrophen) kann so Ersatz aus anderen Regionen eingesetzt werden, falls diese vom Ausfall nicht betroffen sind.

4.2.3 Kosten durch Wetterereignisse

Die Kosten, die im ÖV auf Grund von Wetterereignissen entstehen, lassen sich nur schlecht verallgemeinern. Sie können bestimmten Ereignissen (wie dem Hochwasser an der Elbe 2013) zugeordnet werden, dadurch lassen sich jedoch keine Verallgemeinerungen ableiten oder Vorhersagen treffen. .

Eine beispielhafte Aufstellung von Kosten für Wetterereignisse erfolgt in Tabelle 3.

Tabelle 3 Kosten durch Schäden nach Wetterereignissen (verändert nach Enei, Doll et al. 2011, S. 69 f.)

Schadensereignis	Ort	Schaden	Kosten
Hochwasser Sommer 2002	Gemeinden in Sachsen	ÖPNV (allgemein) Davon im Regierungsbezirk Dresden (außer Stadt Dresden)	69 Mio. Euro 66,8 Mio. Euro
	Dresden	ÖPNV Davon: Infrastruktur Fahrzeuge Gebäude und sonstiges	99,2 Mio. Euro 83,8 Mio Euro 13,4 Mio. Euro 0,5 Mio. Euro
	Prag, CZ	ÖPNV (Metro)	230 Mio. Euro
	Chemnitz	ÖPNV (Gleisreparaturen)	22 000 Euro
	Hochwasser 2010	Chemnitz	ÖPNV (Reparatur, Inspektion, Qualitätskontrolle)

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass durch das Hochwasser im August 2002 in Sachsen Schäden am ÖPNV in Höhe von ca. 168,2 Mio. Euro entstanden sind. Wie stark solche Kosten in anderen Regionen variieren können, zeigen die Schäden aus Prag. Hier wurde die U-Bahn beschädigt, wodurch dieser einzelne Schadensposten höher ist, als die Schäden in ganz Sachsen.

Neben den Hochwasserereignissen, die auf fluss- und gewässernahe Gebiete begrenzt sind, treten andere Wetterereignisse unabhängiger davon auf. Im Juni 2014 ereigneten sich zu Pfingsten schwere Stürme und Gewitter durch das Tief Ela. Besonders betroffen war Nordrhein-Westfalen. Tagelang war der Bahnverkehr unterbrochen oder gestört, so dass 2 000 Züge nicht fahrplangerecht fahren konnten. Dadurch entstanden insgesamt etwa 100 000 Verspätungsminuten. Der Schaden der Deutschen Bahn AG belief sich auf ca. 60 Millionen Euro, davon ca. 23 Millionen Euro Schaden an Infrastruktur und 36 Millionen Euro Umsatzausfall (vgl. Doll 2014, online). Dadurch wird auch verdeutlicht, dass die Auswirkungen von Unwettern auf den Umsatz größer sein können, als auf die Infrastruktur. Hinzu kommt, dass bei Verspätungen durch Unwetter im Schienenverkehr Teile des Fahrpreises an den Fahrgast als Entschädigung zurückgezahlt werden müssen. Neben den Schäden für die Deutsche Bahn AG als Betreiber des Schienenpersonennah- und fernverkehrs entstanden auch den ÖPNV Betreibern der betroffenen Gemeinden teils hohe Kosten. Bei der Duisburger Verkehrsgesellschaft AG (DVG) beliefen sich diese auf ca. 400 000 Euro (vgl. rp-online 2014).

In Bezug auf Resilienz ist es wichtig zu beachten, dass eine höhere Resilienz diese Schäden nicht zwangsläufig verhindert hätte. Vielmehr stellen die entstandenen Kosten das bestehende Potential dar und sind ein Indiz dafür, dass die bestehende Resilienz unzureichend ist.

5 Resilienzerhöhung

Eine Erhöhung oder Verstärkung der Resilienz des ÖV ist keine einfache oder triviale Aufgabe. Sie setzt eine sehr gute Kenntnis des jeweils zu verbessernden Systems sowie über die potentiellen Störungen und Krisen voraus. Damit sind die Maßnahmen zugeschnitten auf den konkreten Anwendungsfall. Eine nicht modifizierte Übertragung auf andere Fälle ist selten möglich.

Wie bereits in Kapitel 2.6.1 mit den Resilienzcharakteristiken angedeutet, bewegt sich Resilienz meist zwischen zwei Polen, die sich gegenseitig ausschließen. Es muss also ein Kompromiss zwischen diesen Positionen gefunden werden. Es sind jedoch nicht nur die Charakteristiken, zwischen denen eine Entscheidung stattfinden muss, sondern auch weitere Attribute, wie beispielsweise zwischen Sicherheit und Freiheit in der Terrorabwehr (s. Kapitel 5.3).

In den drei Gebieten Klimawandel und Wetter, demografischer Wandel und Terroranschläge werden Maßnahmen zur Resilienzerhöhung genauer vorgestellt. Insbesondere beim Klimawandel werden dazu die bereits vorgestellten Resilienzstrategien (s. Kapitel 2.3) genutzt. Bei den übrigen Fällen erfolgt eine ganzheitliche Strategie, die sich nicht fest nach den Kategorien Adaption, Mitigation und Transformation richtet.

Über die beschriebenen Maßnahmen wird es auch möglich sein, erste Aussagen zur Resilienzbewertung in Kapitel 6 zu treffen.

5.1 Klimawandel und Wetter

In diesem Kapitel werden Maßnahmen beschrieben, die die Resilienz gegen den Klimawandel verstärken. In diesem Zusammenhang wird vor allem die Resilienz gegen Niederschlag und daraus folgenden Überflutungen behandelt, da diese, wie bereits in Kapitel 3.2 beschrieben, weiter an Häufigkeit und Intensität zunehmen werden.

5.1.1 Adaption

Die Adaption an den Klimawandel bedeutet vor allem eine Anpassung an die erwarteten Folgen des Klimawandels (s. Kapitel 2.3.1). Laut Eichhorst (2009, S. 23) gibt es drei Hauptmaßnahmen der Adaption: Rückzug bzw. Vermeidung, Schutz und Angleichung. Am Beispiel von Überschwemmungen werden diese in Abbildung 8 veranschaulicht.

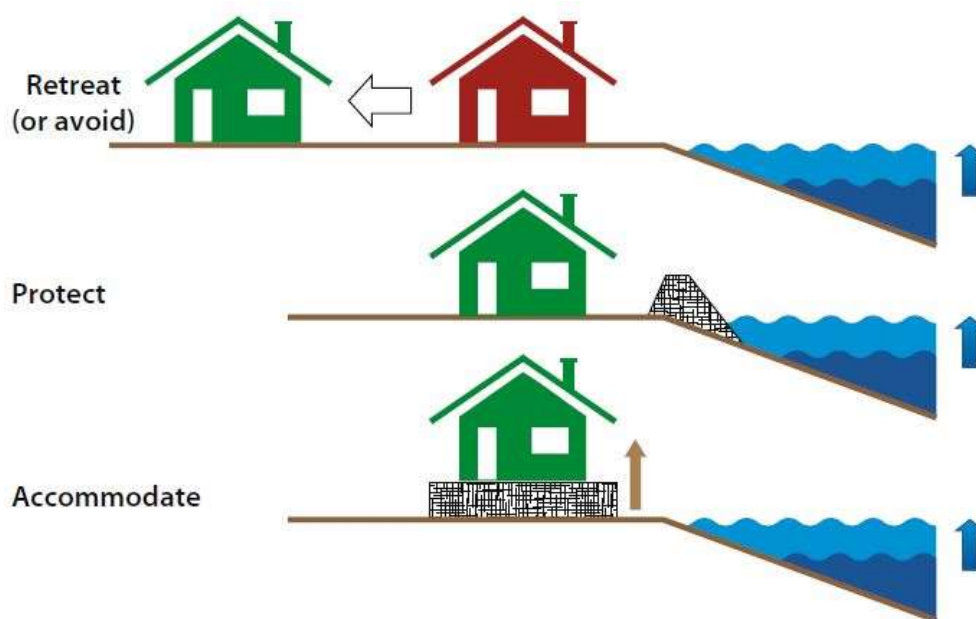


Abbildung 8 Maßnahmen der Adaption (©Eichhorst 2009, S. 23)

Als Rückzug (Retreat/Avoid) beschreibt man die Vermeidung von vulnerablen Gebieten (z. B. in Überschwemmungsgebiete in Flussnähe). Aktivitäten oder Infrastruktur sollten von diesen Bereichen in weniger anfällige Gebiete verlagert werden¹². Beim Schutz (Protect) erfolgt keine Ortsveränderung, sondern es werden Schutzeinrichtungen installiert, um so die Gefahr zu reduzieren. Es wird zwischen harten Maßnahmen (z. B. Deichbau) und weichen Maßnahmen (z. B. Überflutungsflächen schaffen) unterschieden. Beim Angleichen (Accommodate)¹³ wird die Vulnerabilität reduziert, indem es zu Modifikationen am gefährdeten Objekt kommt (z. B. durch Hochwasserstelzen). Der Unterschied zum Schutz besteht darin, dass er unabhängig vom zu schützenden Objekt

¹² Abbildung 8 beinhaltet nur eine vereinfachte Darstellung von Rückzug bzw. Vermeidung. So zählt nicht nur die Entfernung zu Flüssen oder anderen überschwemmungsgefährdeten Gebieten, sondern auch der Höhenunterschied dazu. Dieser wird in der Abbildung vernachlässigt.

¹³ Um Verwechslungen zu vermeiden wird als Übersetzung für „accommodate“ hier statt des üblichen „anpassen“ „angleichen“ genutzt. Der Begriff „anpassen“ ließe sich nur schwer zu der allgemeinen Definition der Adaption abgrenzen.

erfolgt, während bei der Anpassung das Objekt direkt verändert wird (vgl. Eichhorst 2009, S. 23 f.).

Der Rückzug bzw. die Vermeidung der Gefahr ist die Form der Adaption, die zunächst am besten erscheint. Bei erfolgreicher Durchführung sind keine weiteren Maßnahmen nötig. Jedoch ist die Anwendbarkeit stark begrenzt, da sich beispielsweise der ÖV auf die gewachsenen Siedlungsstrukturen beziehen muss. Eine Vermeidung der Gefahr ist dadurch nur schwer möglich. Daher sind für die Resilienzsteigerung in diesem Fall Schutz- und Angleichungsmaßnahmen geeigneter, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden.

5.1.1.1 Schutzmaßnahmen

Beim Schutz kann in harte und weiche Maßnahmen eingeteilt werden. Harte Schutzmaßnahmen verhindern durch bauliche Vorrichtungen eine Überflutung und damit Beschädigung der Infrastruktur. Es ist dabei möglich, permanente Lösungen zu erstellen, beispielsweise Deiche und versenkbare Schutzwände, oder flexiblere Möglichkeiten zu wählen, wie mobile Schutzwände. Deiche können nur gebaut werden, wenn genug Fläche vorhanden ist. Insbesondere für Städte bieten sich daher mobile Schutzwände an, die bei Hochwassergefahr aufgebaut und nach Abklingen des Hochwassers wieder eingelagert werden. Durch die Schutzwände ist es möglich, große Bereiche zu schützen oder auch nur einzelne Elemente kritischer Infrastruktur¹⁴. Solche kritischen Einrichtungen können auch wichtige (Eisenbahn-)Verkehrsknotenpunkte oder betriebsnotwendige Gebäude sein. Wenn also nicht die gesamte Infrastruktur des ÖV gegen Hochwasser geschützt werden kann, ist es sinnvoll, trotzdem einzelne Bestandteile wie Betriebshöfe zu sichern, dazu zählen auch Umspannwerke. Ein Nachteil insbesondere von Deichen ist die fehlende Anpassungsfähigkeit. Hochwasserereignisse können sich in ihren maximalen Höhen stark unterscheiden. Bei der Konstruktion der Schutzanlagen muss also ein Scheitelwert bestimmt werden, nach dem sich die Bauwerkshöhe richtet. Tritt dann jedoch ein höheres Hochwasser auf, wird der Deich überspült oder muss nachträglich vorübergehend erhöht werden. Deiche können daher

¹⁴ Definition: „Kritische Infrastrukturen sind Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden“ (BMI 2009, S. 3).

ein trügerisches Sicherheitsgefühl erzeugen. Wenn sich die Hochwasserschutzmaßnahmen nur auf den Deichbau beschränken, drohen bei einem Versagen dieser weitaus größere Schadensausmaße. Hier zeigt sich das Verletzlichkeitsparadoxon des BMI (2009, S. 8): Je höher und stärker also Deiche sind, desto verheerender sind die Folgen bei einem Versagen dieser. Daher müssen trotz guter harter Schutzmaßnahmen auch weitere Handlungen erfolgen, um eine Resilienz gegen Hochwasser zu erreichen.

Als zusätzliche Aktionen kann ein weicher Schutz erfolgen. Dieser beinhaltet Maßnahmen, die nicht direkt die gefährdete Infrastruktur betreffen, sondern eher die Gefahrenquelle, in diesem Fall Gewässer. Durch weiche Schutzmaßnahmen sollen die Auswirkungen von Hochwasserereignissen auf gefährdete Infrastruktur wie den ÖV vermindert werden. Durch die gezielte Schaffung von Überflutungsflächen in weniger vulnerablen Gebieten¹⁵ kann beispielsweise der Hochwasserscheitel in wichtigeren Gebieten gesenkt werden. Möglichkeiten dafür sind steuerbare Überflutungspolder, die besonders bei kurzem Hochwasser effektiv sind (vgl. Müller 2010, S. 273). Eine Steigerungsform ist die Umleitung von den Wassermassen in vorbestimmte Kanäle, vorbei an vulnerablen Gebieten wie Großstädten¹⁶. Hier zeigt sich eine Anwendung des Prinzips „Robustheit und Fragilität“, während also einerseits robuste Vorkehrungen getroffen werden wie Deiche, muss auch eine Fragilität beachtet werden, also das zur Verfügung stellen von Überflutungsgebieten.

Eine weitere weiche Maßnahme ist die Korrektur früherer Fehlplanungen. So wurden Gewässer eingeeengt, begradigt oder in ihrem Verlauf geändert. Bei Hochwasser besteht daher die Möglichkeit, dass Gewässer in alte Verläufe zurückkehren. Die Überflutung des Dresdner Hauptbahnhofes 2002 durch die Weißeritz wurde durch so eine Verlegung des Flusses beeinflusst (vgl. Müller 2010, S. 280). Das Ziel der Planung muss es also sein, solche ursprünglichen Verläufe entweder wieder herzustellen, oder gesonderte harte Schutzmaßnahmen zu treffen. Dabei kann es jedoch zu Problemen in der Durchführung kommen.

¹⁵ Weniger vulnerable Gebiete können ohne großen Schaden überflutet werden. Dazu können Wiesen oder Parkplätze gehören.

¹⁶ Der Magdeburger Umflutkanal nutzt dieses Prinzip: Bei Hochwasser wird ein Wehr geöffnet, welches Teile der Elbe östlich an Magdeburg durch einen mit Deichen begrenzten Kanal vorbei leitet.

Beispielsweise zerstörte die Weißeritz durch das Hochwasser 2002 auch weite Teile der Bahnstrecke im Weißeritztal vor Dresden. Der Wiederaufbau dieser Strecke folgte exakt den Plänen der alten Strecke. Die Vulnerabilität wurde demnach nicht gesenkt. In Abbildung 9 ist die wiederaufgebaute Eisenbahnbrücke über die Weißeritz erkennbar.



Abbildung 9 Neubau einer Eisenbahnbrücke zwischen Dresden und Tharandt (©Müller 2010, S. 427)

Der rote Pfeil signalisiert den baulich beeinflussten Flusslauf mit einem Knick während der blaue Pfeil den idealen Verlauf aufzeigt. Bei Hochwasser wird die Weißeritz also eher dem blauen Pfeil folgen und so für Erosionsschäden an der jetzigen Uferbefestigung sorgen, die bis zur erneuten Zerstörung der Bahnstrecke reichen können. Die Chance auf eine Resilienzerhöhung beim Neu- bzw. Wiederaufbau der Strecke wurde verpasst. Die Gründe dafür sind eine Unterschätzung der Gefahrenlage oder die Unkenntnis über bessere Entwürfe bei Entscheidungsträgern sowie das Planungsrecht. Ein Umbau oder Verlegen der Trasse hätten ein neues Genehmigungsverfahren verlangt (vgl. Müller 2010, S. 284). Dieses Beispiel und der Fall in Rothensee (s. Kapitel 4.2.1.1) zeigen, dass langwierige Planungsverfahren einen verstärkten Ausbau resilienter Infrastruktur erschweren und die Wiederherstellung alter vulnerablen Strukturen begünstigen. Eine Resilienzerhöhung bedarf daher nicht nur infrastruktureller Maßnahmen, sondern auch einer Veränderung in Verwaltung und Administration. Daran lässt sich gut die Notwendigkeit interdisziplinärer Ansätze zur Resilienzerhöhung erkennen.

In vielen Fällen kann Resilienz nicht durch die bereits beschriebenen Maßnahmen der Vermeidung und des Schutzes erhöht werden. In diesen Fällen kann Adaption nur durch Angleichen erreicht werden.

5.1.1.2 Angleichung

Beim Angleichen wird sich direkt auf das zu adaptierende Element bezogen und dieses durch interne Änderungen an die Gefahr angepasst. Das Prinzip des Angleichens ist sehr nah am Grundverständnis der Resilienz. Das Eintreten einer Störung wird nicht verhindert, sondern das betroffene Objekt so vorbereitet, dass es nur wenig oder keinen Schaden nimmt.

Bezogen auf Hochwasser und ÖV gibt es zwei generelle Herangehensweisen: das Verhindern der Überflutung durch bauliche Veränderung an der ÖV-Infrastruktur selbst und das Ermöglichen einer weitestgehend schadensfreien Überflutung. Im Gegensatz zu einem nachträglichen Schutz der Infrastruktur durch bereits genannte Maßnahmen, die die erworbene Resilienz verbessern, wird durch Angleichung die konstitutionelle Resilienz erhöht.

Eine bauliche Veränderung lässt sich am besten bei Neubauten realisieren. Dann können beispielsweise Gleise erhöht gebaut werden, so dass sie nicht überflutet werden. Das Resultat sind höhere Bahndämme. Bei Hochwasser wird die Infrastruktur nicht betroffen und der Betrieb kann weiter gehen.

Die Wirksamkeit einer solchen vorrausschauenden Bauweise zeigt das Beispiel des Salbker Platzes in Magdeburg (s. Kapitel 4.2.1.1). Da an dieser Straßenbahnstrecke sensible Bauelemente vor der Überflutung entfernt werden konnten, war eine schnelle Wiederaufnahme des Betriebs nach Rückgang des Hochwassers möglich. Im Gegensatz zu Deichen oder anderen Schutzvorrichtungen gibt es bei erfolgreicher Angleichung an Hochwasserereignisse keine Obergrenze für den Scheitelwert, da die Überschwemmung hingenommen wird. Da es durch den Klimawandel mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Häufung von Extremwetterereignissen kommen wird, ist eine verstärkte Angleichung an diese der günstigere Weg, als eine ständige Verbesserung anderer Schutzmaßnahmen.

Mit kleineren Eingriffen kann eine Überflutung nach Starkregen, deren Häufigkeit und Intensität weiter zunehmen wird, verhindert werden. Besonders geeignet sind dazu kleine Barrieren vor Eingängen zu unterirdischen Haltestellen und Bahnhöfen. In Abbildung 10 ist eine Erhöhung des Zugangs zu einem U-Bahnhof dargestellt.



Abbildung 10 erhöhter Zugang eines U-Bahnhofs (©Vallée 2013, S. 431)

Temporäre Überflutungen, die durch unzureichenden Abfluss während Starkregens entstehen, können so daran gehindert werden, in den U-Bahnhof zu fließen. Eine barrierefreie Gestaltung muss zwar generell beachtet werden, da dem erhöhten Zugang in Abbildung 10 eine Treppe folgt, kann davon abgesehen werden. In anderen Fällen kann die Erhöhung auch als Rampe ausgeführt werden, ohne an Effektivität einzubüßen. Weitere Möglichkeiten zur Resilienz gegen Überflutungen nach Starkregen sind Verbesserungen beim Abfluss von Regenwasser und eine verstärkte Abpumpleistung von Wasser aus U-Bahnstationen und -tunneln, wenn ein Eindringen nicht verhindert werden kann.

Zur Angleichung gehört zudem die folgende Maßnahme, die auch außerhalb des Hochwasserkontextes gesehen werden können. Durch das Anwenden der Netzwerktheorie kann ein resilienter Betrieb generiert werden. Das ÖV System lässt sich dabei als ein Netzmodel darstellen. Es besteht dann aus Knoten (Haltestellen) und Kanten (Strecken). Verschiedene Verkehrsmittel können dabei in einem Netz mit verschiedenen Schichten oder Dimensionen gesehen werden. Mit der Netzwerktheorie lassen sich Umleitungsrouten planen, falls es in bestimmten Knoten oder Kanten zu Ausfällen kommt. Solche Pläne können bereits existieren oder bei Bedarf schnell erstellt werden. Im Netzwerk ist dann der Gegensatz von Redundanz und Vielfalt wichtig. Durch

Redundanzen kann das Ausfallen von Verbindungen durch andere ausgeglichen werden. Wenn jedoch zu viel Wert auf Redundanz gelegt wird, leidet darunter die Vielfalt des Netzes und damit wichtige Funktionen. Unter Vielfalt kann man in diesem Fall die Ausdehnung des Netzes sehen, für die dann weniger Ressourcen zur Verfügung stehen. Verdeutlicht wird dieses Dilemma durch ein Beispiel von Jin, Tang et al. (2014). Dabei wird eine Kombination aus Metro und Stadtbus auf ihre Resilienz geprüft. In Abbildung 11 ist der untersuchte Abschnitt dargestellt.

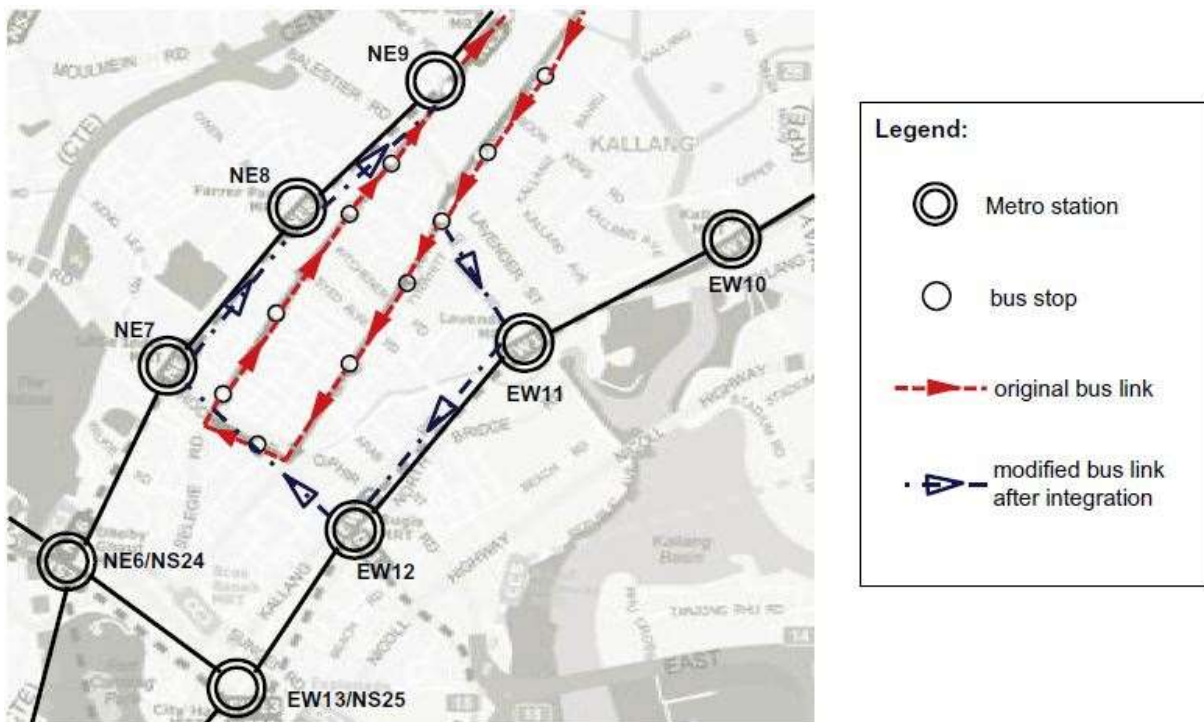


Abbildung 11 Ausschnitt mit Metro und Buslinien in Singapur (©Jin, Tang et al. 2014, S. 21)

Die rote Buslinie ist dabei die Originalführung und die blaue Buslinie eine alternative Streckenführung mit verstärkter Redundanz zur Metro. Da Fahrgäste der blauen Linie quasi zwischen Metro und Bus frei wählen können, liegt hier eine hohe Resilienz vor. Einzelstörungen eines Systems haben keine Auswirkungen auf das andere (vgl. Jin, Tang et al. 2014, S. 27–29). Es lässt sich jedoch gut erkennen, dass durch das Verlegen der blauen Linie die Erschließungsfunktion des Busses reduziert wird. Durch den parallelen Verlauf zur Metro wird kein weiteres Gebiet erschlossen. Die rote Linie führt die Erschließungsfunktion besser aus, da hier Wege zu den Haltestellen reduziert sind. Es muss also ein Kompromiss gefunden werden zwischen der Erhöhung der Resilienz durch Redundanz und der Gewährleistung der Vielfalt. Es wäre jedoch denkbar, dass bei

einer Störung der Metro die rote Linie temporär den Verlauf der blauen Buslinie wählt. Ähnlich dazu ist auch die Möglichkeit der schnellen Einrichtung eines Ersatzverkehrs (beispielsweise Schienenersatzverkehr durch Busse) eine Maßnahme zur Erhöhung der Resilienz. Diese sind besonders wirksam, wenn die Störung nur auf ein Verkehrsmittel beschränkt ist (z. B. die Überflutung eines U-Bahntunnels). Das Nutzen der Netzwerktheorie erhöht demnach die Resilienz ohne große bauliche Veränderungen vorzunehmen, da sich hauptsächlich auf den Betrieb konzentriert wird.

5.1.1.3 Adaptionzyklus

Von großer Bedeutung bei der Adaption ist der Prozesscharakter der Maßnahmen. Nach erfolgten adaptiven Veränderungen darf es nicht zu einem Beenden der Bemühungen kommen. Vielmehr muss garantiert werden, dass Veränderungen in der Ausgangslage registriert und deren Auswirkungen auf die Wirksamkeit der Adaption überprüft werden. Wie bereits erläutert, hat vor allem Infrastruktur eine hohe Langlebigkeit. Daher bietet es sich an, in bestimmten Abständen die Annahmen, die der ursprünglichen Adaption zu Grunde lagen, mit Hilfe eines Adaptionzyklus zu evaluieren. Ein Adaptionzyklus folgt dabei dem in Abbildung 12 dargestellten sich wiederholenden Muster aus Beobachtung, Datenerhebung, Planung, sowie Umsetzung und Kontrolle (vgl. Eichhorst 2009, S. 25 f.)

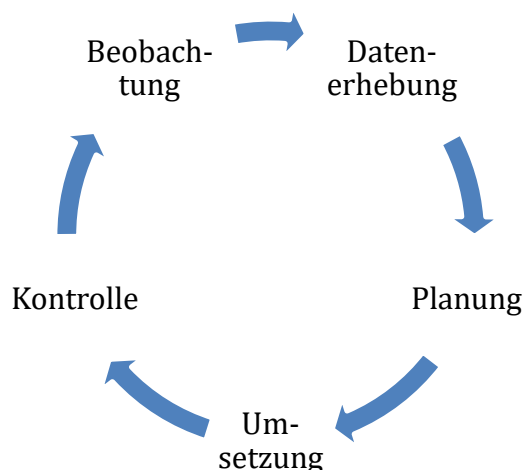


Abbildung 12 Adaptionzyklus (nach Eichhorst 2009, S. 25, eigene Darstellung)

Die Durchführung des Zyklus kann entweder zu festgelegten Zeiten erfolgen (beispielsweise 10 Jahre) oder wird bei konkreten Beobachtungen gestartet.

Insbesondere bei einer Verstärkung des Klimawandels müssen weitere Adaptionsmaßnahmen ergriffen werden. Durch die Anwendung des Adaptionszyklus soll garantiert werden, dass Schutz- und Angleichungsvorkehrungen immer noch effektiv sind. Dazu können auch die Instrumente der Resilienzbewertung aus Kapitel 6 hinzugezogen werden.

Diese Beispiele für Adaption zeigen, wie das ÖV System auf eine Bedrohung wie den Klimawandel reagieren kann. Im Folgenden wird bei der Mitigation die Konzentration auf proaktiven Maßnahmen liegen, die das Auftreten von Störungen verhindern bzw. abmildern sollen.

5.1.2 Mitigation

Neben den adaptiven Maßnahmen, die den ÖV vor den Folgen des Klimawandels schützen sollen, kann dieser auch mehrere Beiträge zur Abschwächung des Klimawandels leisten. Die Grundlage dieser Abschwächung ist die Reduzierung von Treibhausgasen, insbesondere Kohlenstoffdioxid. Dies kann im Wesentlichen durch zwei Maßnahmen erreicht werden: der Erhöhung der Fahrgastzahlen und damit eine partielle Verminderung des MIV Aufkommens und durch den Einsatz von Fahrzeugen mit neuen emissionsarmen Techniken.

Als Vision für einen resilienten ÖV beschreiben Newman, Beatley et al. (2009, S. 90 f.) treffend folgende sieben Elemente:

1. Ein ÖPNV System, welches auf allen Hauptachsen schneller ist als der MIV
2. Lebendige Zentren entlang der ÖPNV-Achsen
3. Abschnitte, besonders in den Zentren, die gut zu Fuß und mit dem Fahrrad erreichbar sind, jedoch nicht mit dem MIV
4. 24-stündiger Service und gute Verbindungen ohne großen Zeitverlust
5. Einführung einer verkehrsabhängigen Maut, deren Einnahmen zur Verkehrsberuhigung genutzt werden sollen und zur Verbesserung der Infrastruktur für Radfahrende und Zufußgehende
6. Ständige Verbesserung der Fahrzeugtechnik, insbesondere der Antriebe. Dadurch Reduzierung des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen (Lärm, Treibhausgase)

7. Politischer Wille zur Einführung visionärer grüner Mobilitätspläne und deren Finanzierung

Ziel dieser Vision ist die Zurückdrängung des MIV, der bisher meist die Städte dominiert. Der ÖV spielt hier eine Schlüsselrolle. Durch eine Attraktivitätssteigerung sollen mehr Fahrgäste gewonnen werden. Diese Steigerung der Attraktivität beinhaltet nicht nur den ÖV an sich, sondern auch stadtplanerische Themen wie die Gestaltung der Räume entlang der wichtigsten ÖPNV Achsen. Damit wird gezeigt, dass eine erfolgreiche Mitigation des Klimawandels nicht allein durch den ÖV erreicht werden kann, sondern es weiterer flankierender Maßnahmen in anderen Gebieten bedarf. So sollen zusätzliche Push-Maßnahmen die Nutzung des Autos für Fahrten in der Stadt unattraktiv machen, beispielsweise durch die in Punkt 5 vorgeschlagene Maut.

Der ÖV selbst ist auch ein großer CO₂-Emittent. Um Klimaschutz wirksam zu gestalten, müssen daher Emissionen reduziert werden, die vor allem durch die Verbrennung fossiler Treibstoffe entstehen. Dies ist einerseits möglich durch die Nutzung von Strom aus nachhaltigen Energiequellen für Fahrzeuge, die bereits elektrisch betrieben werden. Andererseits müssen Antriebe mit Verbrennungsmotoren durch umweltfreundlichere Alternativen ersetzt werden. Dies trifft vor allem für den Busverkehr zu. Als Zwischenlösung bieten sich Hybridantriebe an, die zu Teilen mit Strom und Kraftstoffen betrieben werden. Langfristig sollten aber die Abschaffung aller Antriebe mit fossilen Treibstoffen erfolgen. Es muss daher die Nutzung elektrischer oder anderer emissionsarme Lösungen fokussiert werden. Die Umsetzung dieser Mitigationsmaßnahmen ist stark abhängig von der Umwelt-, Energie- und Verkehrspolitik. Durch deren Vorgaben und Förderungen können Unternehmen im ÖV die entsprechende Technik besorgen (vgl. Haase 2009, S. 17 f.). Bisher wird die Elektromobilität im ÖV jedoch noch vernachlässigt und teilweise mit falschen Anreizen belegt. Naheliegende, bewährte und gut erforschte Möglichkeiten wie der Trolleybus (auch Oberleitungsbus) werden zugunsten anderer Lösungen (z. B. der Straßenbahn) nicht eingesetzt (vgl. Haase 2009, S. 20 f.). Ebenso spielt der ÖV (insbesondere der ÖPNV) im Nationalen Entwicklungsland Elektromobilität der Bundesregierung nur eine untergeordnete Rolle (vgl. BR 2009, S. 18). Damit die Maßnahmen zur Mitigation erfolgreich durchgeführt werden können, muss also vor allem an den zuständigen Stellen in der Politik und Verwaltung der entsprechende Gestaltungs- und

Änderungswille vorhanden sein. Dazu gehört auch, weniger prestigeträchtige Lösungen zu nutzen, also beispielsweise Trolleybusse anstatt Straßen- bzw. Stadtbahn.

5.1.3 Transformation

Die Transformation stellt eine Veränderung des gesamten Systems dar. Sie ist damit eine Steigerung von Adaption und Mitigation, die nur einzelne Maßnahmen beinhalten. Die Transformation beinhaltet jedoch sowohl Elemente der Adaption als auch der Mitigation. Durch diese Kombination kann also etwas Neues geschaffen werden. In der Vergangenheit wurden solche Transformationen bei der Einrichtung von Hoch- und Schwebbahnen vorgenommen. Herkömmliche (Straßen-)Bahnsysteme eigneten sich aus diversen Gründen nicht für den Betrieb in den betroffenen Städten wie Wuppertal. Daher wurden diese Systeme transformiert.

Es ist schwer abzusehen, welche Transformationen den ÖV in Zukunft verändern werden. Eine Flexibilisierung, bessere Vernetzung, oder auch ein einheitlicher Takt könnten Elemente einer kommenden Transformation sein.

5.2 Demografischer Wandel

Der Demografische Wandel hat auf den ÖV Auswirkungen auf der Anbieter- und Nachfrageseite. Sowohl das Personal der ÖV-Betreiber wird älter als auch die Fahrgäste. Daher müssen Maßnahmen entwickelt werden, die beide Auswirkungen kompensieren können.

5.2.1 Altersstruktur in Unternehmen

Eine Änderung der Altersstruktur durch den Demografischen Wandel führen unter anderem zu einer Erhöhung des Krankenstandes in Unternehmen. Ältere Arbeitnehmer_innen haben teilweise die doppelte bis dreifache Anzahl an krankheitsbedingten Fehltagen. Unternehmen mit einem hohen Altersdurchschnitt der Belegschaft müssen also mit einem häufigen Ausfall von Mitarbeiter_innen rechnen. Zum

Umgang mit dieser Krise stehen einem Unternehmen adaptive und abmildernde¹⁷ Maßnahmen zur Verfügung.

Eine naheliegende Reaktion auf die beschriebenen Effekte des demografischen Wandels ist das Einstellen von neuem zusätzlichem Personal. Dadurch sollen Engpässe und damit Ausfälle verhindert werden. Eine Voraussetzung dafür ist die Schulung dieser neuen Arbeitskräfte, damit sie die Erkrankten an deren Arbeitsplätzen vertreten können. Dazu ist es sinnvoll, Generalist_innen zu schulen, also Mitarbeiter_innen, die an verschiedenen Arbeitsplätzen und -umgebungen eingesetzt werden können. Durch diese Flexibilität soll verhindert werden, dass der Ausfall bestimmter Mitarbeiter_innen, beispielsweise in der Verkehrsleitung, zu weitreichenderen Konsequenzen führt. Diese Flexibilität kann auch bedeuten, dass Personal im Fahrbetrieb auf mehreren Fahrzeugen eingesetzt werden kann. Dazu gehören sowohl die Fähigkeit, verschiedene Baureihen zu lenken, als auch der Einsatz in anderen Verkehrsmitteln. Besonders kleinere Unternehmen im ÖPNV können davon profitieren, wenn u. a. die Busfahrer_innen auch Straßenbahnen lenken dürfen. In diesem Fall führt eine Erhöhung der Flexibilität des Personals also zu einer Erhöhung der Resilienz.

Eine weitere adaptive Maßnahme ist die Reduzierung des Personalbedarfs. Das führt zu einer Senkung der Abhängigkeit des Betriebes von den Mitarbeiter_innen. Eine gängige Praxis ist hier die Automation. Besonders Schienenfahrzeuge eignen sich für den autonomen Betrieb. Während jedoch die Abhängigkeit vom Personal zum Führen der Züge abnimmt, steigt die Abhängigkeit von jenen Mitarbeiter_innen, die für die Steuerung der Züge in den Leitzentralen zuständig sind. Durch eine ausreichende Personaldecke und hohe Flexibilität muss dafür gesorgt werden, dass der Ausfall von Mitarbeiter_innen im Kontrollbetrieb keinen Einfluss auf den laufenden Betrieb hat. Hier zeigt sich die Bedeutung der Gegensätze von Kompaktheit und Dezentralität. Bei einer kompakten Konzentrierung der Verantwortung für den Betrieb auf die Leitzentrale werden Störungen hier im ganzen System spürbar. Beim dezentralen Einsatz von Personal in den einzelnen Fahrzeugen ist jedoch durch die hohe Anzahl der benötigten Mitarbeiter_innen ebenfalls eine höhere Vulnerabilität gegenüber von Ausfällen zu verzeichnen.

¹⁷ Die abmildernden Maßnahmen werden in Zusammenhang mit Klima „Mitigation“ genannt.

Neben der Anpassung an den Demografischen Wandel können Unternehmen diesen auch abmildern. Zur Steigerung bzw. Erhaltung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit gibt es zwei Ansätze: arbeitsweltbezogene Risikofaktoren reduzieren sowie Qualifikation und Motivation erhöhen (Richter, Bode et al. 2012, S. 4 f.). Unternehmen müssen also zunächst die Risikofaktoren erkennen und bestimmen. Eine Übersicht über die besonders bedeutsamen Risiken befindet sich in Anhang 4. Nach dem Identifizieren der Risikofaktoren muss das Unternehmen diese reduzieren. Eine Möglichkeit ist die differentielle Arbeitsgestaltung, die den Mitarbeiter_innen erlaubt, alternative Arbeitsstrukturen zu entwickeln und zu nutzen. Das bedeutet die Abkehr vom Ansatz, dass nur eine Methode der Ausführung der Arbeit möglich und richtig ist. Dadurch erhöht sich die Kontrolle und Autonomie der Mitarbeiter_innen. Durch die Förderung von Weiterbildung und lebenslangem Lernen kann das Unternehmen zusätzlich die Qualifikation und Motivation des Personals erhöhen (vgl. Richter, Bode et al. 2012, S. 8). Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Risikofaktoren ist die ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen, die sich auch an die geänderten Bedürfnisse der älteren Mitarbeiter_innen anpasst.

Einige Maßnahmen stehen jedoch teilweise in Konflikt mit der bereits genannten Steigerung der Flexibilität. Wenn von Mitarbeiter_innen eine zu große Flexibilität bezüglich der Arbeitszeit oder dem Arbeitsplatz verlangt wird, kann das zu erheblichen, vor allem psychischen, Belastungen führen (vgl. Richter, Bode et al. 2012, S. 8). So muss auch hier ein Mittelweg gefunden werden, so dass Flexibilität gewährleistet ist, ohne die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der betroffenen Mitarbeiter_innen zu gefährden.

Diese aufgezählten Maßnahmen können die Resilienz gegen den Demografischen Wandel erhöhen. Andere gesellschaftliche Krisen können andere Maßnahmen erfordern, um in den entsprechenden Fällen ebenfalls eine verstärkte Resilienz aufzubauen. Die hier genannten Beispiele beziehen sich auf eine Erhöhung der spezifischen Resilienz.

5.2.2 Alternde Fahrgäste

Neben den offensichtlichen Folgen des Demografischen Wandels auf das Personal dürfen die Auswirkungen auf die Fahrgäste nicht vernachlässigt werden. Wie bereits beschrieben, wird die Nachfrage nach ÖV durch Schüler_innen und Erwerbstätige

zurückgehen und dafür die Bedeutung von älteren Menschen steigen. Der Aufbau der Resilienz in diesem Bereich ist wichtig, um den ÖV trotz sich ändernder Fahrgastbedürfnisse weiter attraktiv zu halten. Zunächst scheint eine Verschiebung der Nachfragegruppen im Vergleich zum Personalmangel keine große Bedeutung zu haben. Und obwohl sich diese Veränderung nicht direkt auf den Betrieb durch Ausfälle oder ähnliches auswirkt, können langfristig Probleme entstehen. Wenn der ÖV durch falsches oder nicht zugängliches Angebot Fahrgäste verliert, wird es zu Einsparungen und damit Einschränkungen im Angebot kommen müssen. Der ÖV könnte dann also nicht mehr seine Aufgaben und Funktionen erfüllen, was gegen die Vorgaben der Resilienz verstieße. Die möglichen Strategien zur Resilienzerhöhung sind hier Adaption, also die Anpassung an die veränderten Umstände, und eine Transformation, welche eine komplette Umformung des Systems ÖV bedeuten könnte.

Adaptive Maßnahmen lassen sich aus den Bedürfnissen der Fahrgäste ableiten. Ein Hauptbedürfnis ist die Barrierefreiheit¹⁸. Durch die steigende Zahl älterer Menschen ist auch mit einem Anstieg der mobilitätseingeschränkten Fahrgäste zu rechnen. Durch körperliche bzw. medizinische Einschränkungen kann es beschwerlich sein, größere Absätze oder Stufen zu steigen. Hinzu kommt das Mitführen von Gegenständen wie Rollstühlen, Rollatoren oder Einkaufsrollern, wodurch ebenfalls die Fähigkeit begrenzt wird, Höhenunterschiede zu bewältigen. Diese notwendige Entwicklung der Barrierefreiheit wurde bereits erkannt und durch den Gesetzgeber eine Umsetzung bis 01.01.2022 in § 8 Abs. 3 PBefG angeordnet. Jedoch ist bis dahin „noch nicht mit einer vollständigen oder flächendeckenden Umsetzung zu rechnen“ (Siegmann 2013, S. 296). Ein barrierefreier ÖV bedeutet, dass es in der gesamten Wegeketten keine Barriere gibt. Das erfordert insbesondere die barrierefreie Gestaltung von Zu- und Abgangswegen, Fahrzeugen, Haltestellen und Umsteigepunkten (Holz-Rau 2011, S. 129). Konkrete Maßnahmen und Bauvorschriften sind unter anderem in der DIN 18040-3 einsehbar. Die Barrierefreiheit betrifft die Resilienzdimensionen Infrastruktur und Fahrzeuge und wird von der Dimension Mensch ausgelöst. Da die Förderung der Resilienz im menschlichen Bereich, also quasi die Gesunderhaltung und Vermeidung von

¹⁸ Eine Aufzählung der Grundprinzipien der barrierefreien Gestaltung laut DIN 18040-3 befindet sich in Anhang 5

mobilitätseinschränkenden Zuständen, nicht in den Bereich des ÖV fällt, muss dieser mit den anderen Dimensionen gegensteuern.

Die Dimension Prozesse/Betrieb kann ebenfalls betroffen sein. Wie bereits angedeutet, werden sich auch die Mobilitätsmuster ändern. Es wird also weniger Schüler_innen und Erwerbstätige geben, die ihre täglichen Wege zur Ausbildung oder Arbeit zurücklegen. Ein resilienter ÖV muss auf diese Situation entsprechend reagieren können. Durch das Abschwächen der Nachfrage zu den Spitzenzeiten am Morgen und Nachmittag ist eine starre Ausrichtung der verstärkten Bedienung von Linien zu hinterfragen. Eine Änderung dieser Bedienkonzepte kann sinnvoll sein, wenn dadurch die Nachfrage von beispielsweise älteren Fahrgästen besser befriedigt werden kann. Diese neuen Ansprüche können am besten durch eine Transformation des bisherigen Betriebs erreicht werden. Es erfolgt also keine starre Ausrichtung des ÖV an Fahrplänen und Linien sondern eine Flexibilisierung der Bedienformen. Das beinhaltet beispielsweise Konzepte wie Rufbusse, Sammeltaxis und Bürgerbusse¹⁹. Durch solche Maßnahmen kann auf eine Entzerrung der Nachfragespitzen reagiert werden. Jedoch muss auch hier auf das richtige Maß zwischen Flexibilität und Stabilität gesetzt werden. Während sehr flexible Angebote eine theoretisch optimale Reaktion auf wechselnde Nachfrage sein kann, erzeugen sie auch Unsicherheit unter den Fahrgästen. Ein stabiler Fahrplan ist wesentlich besser voraussehbar als ein nachfragegesteuerter. Zudem werden bei Angebotsformen, die vom Fahrgast aktiv bestellt werden müssen, zusätzliche Barrieren aufgebaut. Diese ergeben sich beispielsweise aus Telefonbesitz und -verfügbarkeit, sowie der Fähigkeit und der Bereitschaft zur Kommunikation mit dem Betreiber.

Es wurde verdeutlicht, dass durch alternde Fahrgäste ein Ausbau der Resilienz in den Dimensionen Fahrzeuge, Infrastruktur und Prozesse/Betrieb erfolgen muss. Ein weiteres teilweise gesellschaftliches Problem ist die Gefahr von Terroranschlägen, mit der sich das folgende Kapitel befasst.

¹⁹ Bürgerbusse werden privat organisiert und betrieben.

5.3 Terrorresilienz

Durch die geringen Fallzahlen (s. Kapitel 3.3.1) kann die Gefahr durch Terroranschläge leicht unterschätzt werden. Aber die große Zahl an Toten und Verletzten beispielsweise in Madrid oder auch die misslungenen Bombenanschläge in Deutschland zeigen, dass die Gefahr durch Terrorismus ebenso vorhanden ist, wie die bereits beschriebenen Störungen durch Wetter.

Die Terrorresilienz bewegt sich hauptsächlich zwischen den Spannungsfeldern Sicherheit – Freiheit/Datenschutz und Robustheit – Effektivität. Zwischen den Extrempositionen muss ein Kompromiss gefunden werden, so dass die Einschränkung von Freiheiten dem Sicherheitsgewinn angemessen ist. Folgend werden einige Maßnahmen zur Resilienzerhöhung beschrieben und deren Nutzen bewertet. Unterschieden wird dabei zwischen aktiven und passiven Maßnahmen. Aktive Maßnahmen beinhalten ständige und anhaltende Maßnahmen (z. B. Videoüberwachung), während passive Maßnahmen einmal getroffen werden und bestehen bleiben (z. B. Layout, Strukturen, Baumaterialien) (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 366). In Bezug auf die Definition von Adaption aus Kapitel 5.1.1 sind aktive Maßnahmen hauptsächlich Schutzmaßnahmen, während passive Maßnahmen der Angleichung und Mitigation dienen.

5.3.1 Aktive Maßnahmen

Aktive Maßnahmen benötigen ständige Zuwendung und Betrieb. Sie können die allgemeine oder spezifische Resilienz erhöhen. Folgend werden einige Beispiele dargestellt.

Als eine Sicherheitsmaßnahme wird oft die Videoüberwachung von öffentlichen Räumen, also auch Haltestellen, U-/S-Bahnstationen und den Fahrzeugen im ÖV genutzt. Dadurch sollen aktuelle Geschehnisse überwacht, verdächtiges Verhalten erkannt und Anschläge so verhindert werden. Die Wirksamkeit der Videoüberwachung zur Verhinderung von Terroranschlägen ist jedoch nur begrenzt. Ein Grund für die geringe Effektivität sind die großen Datenmengen. In Berlin filmen beispielsweise rund 2 000 Kameras die U-Bahnhöfe der BVG. Hinzu kommen die Überwachungsübertragungen aus einer Großzahl der Fahrzeuge (vgl. BVG 2014, S. 32 f.). Zur simultanen Sichtung aller

dieser Aufnahmen würde also eine Vielzahl an Mitarbeiter_innen benötigt. Da diese Personaldeckung aus wirtschaftlichen Gründen nicht gewährleistet werden kann, eignet sich die Videoüberwachung nur bedingt für das Erkennen und Verhindern von Anschlägen. Die Anbahnung der Terroranschläge auf den ÖV in London 2007 wurde zwar von den vorhandenen Kameras aufgezeichnet, die Anschläge konnten jedoch nicht verhindert werden. Die Bilder dienten vielmehr dazu, den Hergang zu rekonstruieren. Damit eignet sich Kameraüberwachung eher als Ermittlungswerkzeug nach Vorkommnissen wie Terroranschläge oder Kriminalität. Durch sich noch in der Entwicklung befindliche Videoanalyseprogramme kann es in der Zukunft eventuell möglich sein, verdächtige Muster zu erkennen und so Sicherheitskräfte auf akute Terrorgefahr aufmerksam zu machen (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 363). Je nach Ausrichtung dieser Videoüberwachungen wird entweder die allgemeine oder die spezifische Resilienz erhöht. Eine bessere allgemeine Resilienz besteht, wenn die Überwachung generelle Aufgaben hat, wie z. B. verdächtiges Verhalten zu erkennen. Dadurch können potentiell diverse Angriffe erkannt werden. Bestehen aber genaue Überwachungsvorschriften, also beispielsweise die Suche nach unbeaufsichtigten Gepäckstücken, erhöht das die spezifische Resilienz. In diesem Fall gegen Anschläge mit Bomben oder anderem Material, welches in Taschen deponiert werden kann.

Eine auf Anschlagprävention ausgelegte Maßnahme ist die Aufmerksamkeitskampagne der MTA. Mit dem Satz „If you see something, say something“²⁰ werden Fahrgäste aufgefordert, verdächtiges Verhalten oder verdächtige Gegenstände der Polizei oder Sicherheitskräften zu melden. Dieser Slogan wird durch Anzeigen in Fahrzeugen, Stationen, Fahrplänen und auf Fahrkarten verbreitet. Ein Beispiel ist die Anzeige in Abbildung 13.

²⁰ „Wenn du etwas siehst, sag etwas“.



Abbildung 13 Anzeige zur Kampagne der MTA (©MTA 2010, online)

Oftmals werden neben dem Satz noch Bilder von unbeaufsichtigten Gepäckstücken gezeigt. Der Satz ist von der MTA geschützt, es werden aber kostenlose Lizenzen erteilt. Dadurch hat die Kampagne in den USA große Verbreitung, vor allem durch bundesweite Nutzung durch das US Heimatschutzministerium (vgl. MTA 2010). Der Vorteil dieser Methode im Vergleich zur Videoüberwachung ist, dass kein zusätzliches Personal notwendig ist, die Überwachungsarbeit leisten die Fahrgäste. Der Erfolg solcher Kampagnen ist jedoch zweifelhaft. In New York wurde seit Einführung der Anzeigen in der New Yorker U-Bahn kein Terroranschlag verhindert oder Terrorist_innen verhaftet. Vielmehr kam es zu einer großen Anzahl an Fehlalarmen und falschen Anschuldigungen. Jedoch kam es in der beobachteten Zeit zu keinen terroristischen Anschlägen auf die U-Bahn der MTA. Daher bleibt die Wirksamkeit solcher Aufmerksamkeitskampagnen unbewiesen bzw. zweifelhaft²¹ (vgl. Molotch 2012, S. 54–58).

Die entstehende große Zahl an Fehlalarmen hat negative Auswirkungen. Werden scheinbar verlassene Gepäckstücke bemerkt und Sicherheitskräften gemeldet, kann es zu einer weiträumigen Sperrung und Untersuchung kommen. Dadurch ist eine Unterbrechung des ÖV-Betriebs möglich. Anstatt also die Resilienz zu erhöhen, kann die Reaktion auf vergessene oder verlorene Gepäckstücke das Gegenteil bewirken. Es lässt sich hier der Konflikt zwischen Sicherheit und Freiheit erkennen.

²¹ Die Anschläge auf Züge in Madrid konnten nicht verhindert werden, obwohl die Gepäckstücke mit den Bomben bemerkt wurden. Aus verschiedenen Gründen wurde das jedoch nicht gemeldet. Ob eine Kampagne zur Aufmerksamkeit bezüglich solcher Vorkommnisse geholfen hätte, lässt sich nicht zweifelsfrei bestätigen (Molotch 2012, S. 55).

5.3.2 Passive Maßnahmen

Passive Maßnahmen beinhalten einmalige Modifikationen zur Erhöhung der Resilienz. Nach der Anwendung benötigen sie keine über das übliche Maß hinausgehende Zuwendung (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 366). Während die aktiven Maßnahmen hauptsächlich der Prävention dienen und Anschläge verhindern sollen, beinhalten die passiven Herangehensweisen auch den Schutz bei Anschlägen. Passive Maßnahmen sind oft konstitutionelle Resilienz, sie werden also schon beim Bau berücksichtigt und gewährleisten so eine Resilienz von Anfang an. Bei nachträglichen Änderungen oder Umbauten entsteht entsprechend erworbene Resilienz.

Das Layout eines Bahnhofs (bzw. U-/S-Bahnstation) kann eine entscheidende Rolle bei Resilienz spielen. Betrachtet man die häufigste Anschlagart, den Bombenanschlag, so besteht die Möglichkeit, durch konstruktive Maßnahmen die Folgen abzuschwächen. Dazu gehören die Abschwächung der Explosion oder die gezielte Leitung der Druckwelle. Eine Reihe an Lösungen steht für dieses Problem zur Verfügung.

Beispielsweise durch die Erhöhung der Übersichtlichkeit kann das unentdeckte Ablegen von Sprengstoffen erschwert werden. Dazu können eine bessere (Tageslicht-) Beleuchtung, transparente Elemente oder verbesserte Sichtbeziehungen beitragen ebenso wie die Vermeidung dunkler und unübersichtlicher Bereiche (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 366). In Verbindung mit den vorgestellten aktiven Maßnahmen kann so ein verbesserter Schutz gegen Bombenanschläge erzielt werden.

Zur gezielten Erhöhung der Resilienz im Explosionsfall kann ein angepasstes Layout des Bahnhofs ebenfalls beitragen. Dabei muss der Schwerpunkt auf der Abmilderung von Explosionen und dem gezielten Ableiten von Explosionsdruckwellen liegen. Ein Beispiel dafür sind Mülleimer. Von diesen geht eine große Explosionsgefahr aus. Da diese nur schwer einsehbar sind, eignen sie sich gut für die Positionierung von Sprengsätzen. Das Entfernen von diesen Müllbehältern ist eine unbefriedigende Maßnahme, da dadurch die Verschmutzung des Bahnhofes zunimmt und die Fahrgastzufriedenheit sinkt (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 362). Bessere Alternativen sind der Ersatz von Behältern durch durchsichtige Tüten, die in ein Gestell gehängt werden. Das erhöht die Sichtbarkeit und damit die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung der Bombe vor der Explosion. Diese Maßnahme setzt jedoch andere aktive Maßnahmen voraus. Eine andere

Möglichkeit ist die konstruktive Veränderung von Mülleimern, so dass der Explosionsdruck einer Bombe abgemildert bzw. umgeleitet wird, wie in Abbildung 14 erkennbar ist.



Abbildung 14 verschiedene Mülleimerbauweisen bei Explosionen (©FTA 2004, S. 3–9)

Beim oberen herkömmlichen Modell breitet sich die Explosion in alle Richtungen aus. Dadurch können Menschen im Explosionsbereich durch die Druckwelle oder umherfliegende Projektile (wie Nägel) verletzt werden. Durch eine konstruktive Verstärkung der Seitenwände im unteren Modell kann der Explosionsdruck samt Kleinteilen nur nach oben entweichen. So kann ein Verletzungsrisiko reduziert werden (vgl. FTA 2004, S. 3-9 f.). Solche konstruktiven Maßnahmen zur Abmilderung von Explosionen sind solchen vorzuziehen, die das Entdecken von Bomben erleichtern, da sie allein wirken und auf keine anderen Elemente angewiesen sind.

Diese verstärkten Konstruktionen lassen sich auch bei den Fahrzeugen (Zügen, Bussen etc.) einsetzen. Hier ist es essentiell, dass bei Explosionen keine zusätzlichen Projektile entstehen, wie beispielsweise Glassplitter aus geborstenen Fensterscheiben. Zudem kann die Karosserie verstärkt werden. Solche Verstärkungen und Versteifungen würden auch bei Unfällen eine höhere Sicherheit für die Fahrgäste bedeuten (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 365 f.). Bei diesem Punkt zeigt sich jedoch der Zielkonflikt zwischen Robustheit und Effizienz. Zur Einsparung von Energie und Material werden Fahrzeuge zunehmend in Leichtbauweise hergestellt, also aus Materialien wie Aluminium. Dadurch sinkt die Robustheit. Dieses Dilemma wird in aktueller Fahrzeugtechnik weiter verfolgt

und zu lösen versucht. An diesem Beispiel zeigt sich deutlich der Konflikt zwischen der Herstellung von Resilienz und dem Streben nach Effizienz.

Eine weitere Möglichkeit durch Konstruktionsänderung eine Resilienzerhöhung zu erreichen, ist die geplante Ableitung von Rauch und anderen Gasen, die durch einen Brand oder chemische/biologische Zusätze einer Bombe entstehen können. Durch diese Ableitung sowie gezielte Führung von Evakuierungsströmen, wird verhindert, dass mehr Menschen als notwendig den entstandenen giftigen Gasen ausgesetzt werden. In unterirdischen Bahnhof sind diese Maßnahmen besonders wichtig. Forschungsansätze dazu nutzen vor allem klimatische Untersuchungen in U-Bahntunneln, um eine bessere Vorhersage der Zugbahn von Gasen zu erreichen (vgl. Pflitsch, Brüne et al. 2010).

Auch oberirdisch können an Eingängen zu Bahnhöfen oder an Haltestellen von Bus und Straßenbahn Maßnahmen zur Abmilderung von Bombenanschlägen getroffen werden. Von Fahrzeugen geht eine erhöhte Gefahr aus, da sie im Gegensatz zu Taschen oder Koffern wesentlich mehr Aufnahmekapazität für explosives Material haben. Daher muss eine direkte Einfahrt in Haltestellenbereiche oder gar unterirdische Bahnhöfe verhindert werden. Dazu können Barrieren genutzt werden. In Abbildung 15 sind solche Barrieren in Form von massiven Betonquadern an einer Straßenbahnhaltestelle in Jerusalem dargestellt.



Abbildung 15 Straßenbahnhaltestelle Ha-Davidka in Jerusalem (©mh/Israelnetz 2014, online)

Die gut erkennbaren Betonquader haben jedoch den Nachteil, sich nicht ästhetisch in die Umgebung einfügen. Dadurch sind sie auch für Fahrgäste sehr präsent und kreieren so eine Atmosphäre der Furcht. Generell sollten die strukturellen Maßnahmen zur Verstärkung der Resilienz nicht zu auffällig sein bzw. deren Zweck zu offensichtlich.

Dadurch wird den Fahrgästen die Gefahr von Anschlägen direkt vor Augen geführt, was die Attraktivität des ÖV senken würde (vgl. Powell und Fletcher 2011, S. 363). Bessere Lösungen für die vorgestellten Barrieren sind daher unauffälligere Poller oder massive Blumenkübel. Auch eine künstlerische Gestaltung der Barrieren (wie in der Bildmitte der Rubik-Würfel) ist möglich. Die Wirksamkeit der Barrieren ist jedoch begrenzt, da die Haltestellen für Busse und Straßenbahnen zugänglich bleiben muss.

Die aufgeführten Beispiele sollten exemplarisch verdeutlichen, welche passiven Möglichkeiten bestehen, um die spezifische Resilienz gegen Bombenanschläge zu erhöhen. Im Vergleich zu den aktiven Maßnahmen fällt auf, dass passive Maßnahmen tendenziell besser geeignet sind, um die Folgen von Terroranschlägen abzumildern. Der Erfolg von aktiven Maßnahmen ist, wie beschrieben, sehr zweifelhaft. Daher muss man davon ausgehen, dass nicht alle Terroranschläge so verhindert werden können. Umso wichtiger ist es, für diesen Fall eine hohe Terrorresilienz aufzuweisen. Diese Resilienz sollte demnach hauptsächlich aus passiven Maßnahmen bestehen, die jedoch mit aktiven ergänzt werden können.

6 Resilienzbewertung

Eine Resilienzbewertung soll angeben, wie resilient ein bestimmtes System ist. Gerade im ÖV und bei den in Kapitel 3 genannten Störungen ist diese Bewertung als Ganzes nur schwer möglich. Durch die vielen verschiedenen Störungen und Krisen, die auf das System ÖV einwirken, kann kein einheitliches Ergebnis erzielt werden. Dies gilt vor allem, da Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz gegen eine Störung, eine Reduzierung der Resilienz gegen eine andere verursachen können. Der Hauptgrund dafür liegt in den bipolaren Resilienzcharakteristiken und deren Auswirkungen. Die Bewertung der allgemeinen Resilienz ist demnach nicht möglich. Um dennoch eine Bewertung zu ermöglichen, kann dazu die spezifische Resilienz genutzt werden. Eine weitere Unterteilung in konstitutionelle und erworbene Resilienz wird nicht vorgenommen, kann aber Bestandteil weiterer Forschung sein.

Die Resilienzbewertung kann nach einer bestimmten Störung erfolgen (ex post) oder vor bzw. unabhängig von einer solchen (ex ante).

6.1 Bewertung ex post

Die Resilienzbewertung nach einer Störung ist für diese Störung von keiner großen Relevanz, da der Schaden bereits entstanden ist. Trotzdem kann diese Bewertung sinnvoll sein, um dadurch Grundlagen für eine Resilienzserhöhung zu legen oder die Erkenntnisse auf andere Orte zu übertragen. Bei der ex post Bewertung liegen viele benötigten Parameter vor, so dass sie im Vergleich zur ex ante Bewertung genauer ist.

Wenn durch eine Störung (beispielsweise Hochwasser) Schaden an der ÖV-Infrastruktur entstanden ist, so zeugt dies vorerst von einer niedrigen spezifischen Resilienz dieser Infrastruktur gegen Hochwasser. Jedoch kann eine schnelle Rückkehr zu planmäßigem Betrieb die Bewertung positiv beeinflussen. Daher wird hierzu ein zeitlicher Verlauf der Resilienz in der Erholungsphase (s. Kapitel 2.3.2.1) genutzt. Um diese Resilienz nun zu bewerten, kann der Resilienzwert (ζ) berechnet werden. Dieser ergibt sich aus einer Formel nach Jin, Tang et al. (2014, S. 20) aus dem Verhältnis aus befriedigter Nachfrage (n) und der gesamten Nachfrage (N).

$$\zeta = \frac{n}{N}$$

Wenn also nach einer Störung von 1 000 nachgefragten Fahrten nur 750 angeboten werden, ergibt sich daraus ein Resilienzwert von 0,75. Ein Resilienzwert von 1 deutet auf eine vollkommene Resilienz hin (die befriedigte Nachfrage entspricht der Gesamtnachfrage), während ein Wert von 0 keine Resilienz bedeutet (es wird keine Nachfrage befriedigt). Werte von größer als 1 können auf ein erfolgreiches Umsetzen der Resilienz erhöhungsmaßnahmen wie Adaption oder Transformation hindeuten, aber auch andere Ursachen haben.

Der bisher auf die Nachfrage ausgerichtete Wert kann auch auf das Angebot bezogen werden. Diese Daten lassen sich schneller und einfacher erheben. In diesem Fall würde sich die Resilienz (ζ_{an}) aus dem Verhältnis vom Angebot nach der Störung (a) zum Angebot vor der Störung (A) ergeben.

$$\zeta_{an} = \frac{a}{A}$$

Für das Beispiel Rothensee in Magdeburg, wo nach dem Hochwasser weiterhin ein 20 Minuten statt eines 10 Minuten Takts gefahren wird, beträgt der Resilienzwert 0,5.

Beim Hinzufügen einer Zeitabhängigkeit (t) lässt sich der Verlauf der Resilienzentwicklung darstellen.

$$\zeta_t = \frac{a_t}{A_t}$$

In Abbildung 16 wird die Resilienzwertentwicklung anhand von zwei Beispielen dargestellt. Die Beispiele wurden so gewählt, dass die komplexen Bewertungsmöglichkeiten deutlich werden.

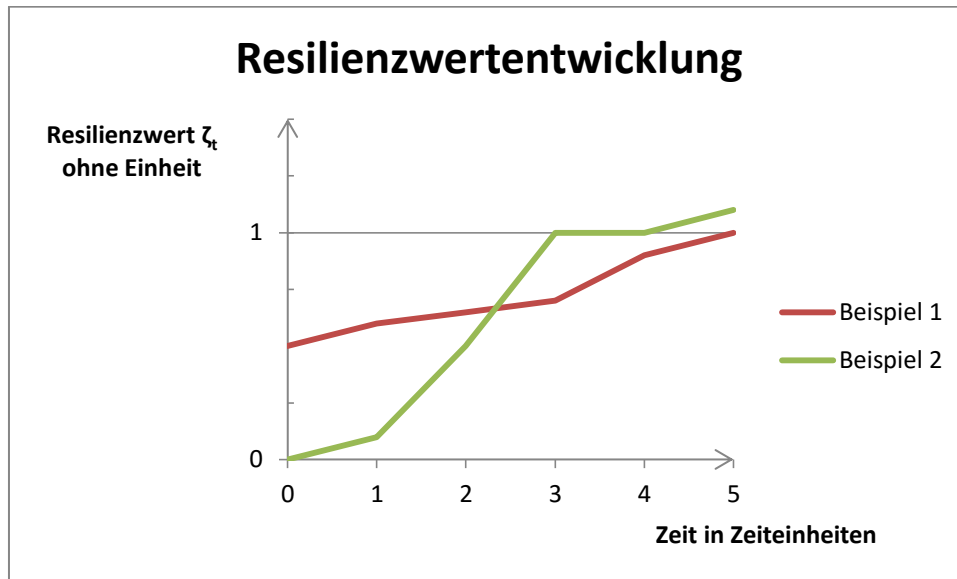


Abbildung 16 Resilienzwertentwicklung an zwei Beispielen (eigene Darstellung)

An diesen Beispielen lassen sich gut verschiedenen Bewertungskomponenten erkennen. Es wird deutlich, wie komplex die Bewertung der Resilienz ist. So kann die Bewertung darauf zielen, dass durch eine Störung so wenige Auswirkungen wie möglich entstehen (es liegt also eine hohe Robustheit vor). Beispiel 1 symbolisiert diesen Fall, in dem während der Störung ($t=0$) etwa die Hälfte des Angebots bereitgestellt wird. Nach fünf Zeiteinheiten²² ist das Ausgangsangebot wieder vorhanden. Im Gegensatz dazu kommt in Beispiel 2 der Betrieb zum Erliegen. Daher hätte unter diesem Gesichtspunkt Beispiel 1 die höhere Resilienz. Wird jedoch unter Resilienz eine schnelle Erholung und Rückkehr zum Ausgangszustand verstanden, so besitzt Beispiel 2 die höhere, da zur Erholung nur drei Zeiteinheiten benötigt werden. Die Auswahl des Bewertungskriteriums (in diesem Fall Robustheit oder Zeitbedarf zur Wiederherstellung) hat demnach entscheidenden Einfluss auf die Resilienzbewertung.

Als Resilienzindikator können auch die Kosten, die durch eine Störung oder Krise entstanden sind, genutzt werden. Bei der Kalkulation dieser Kosten ist es wichtig, Schäden mit einzubeziehen, die nicht unmittelbar durch die Störung entstanden sind. Es müssen also auch Einnahmeverluste, volkswirtschaftliche Verluste (wie Kosten für die Fahrgäste durch eine verlängerte Reisezeit) und Opportunitätskosten einbezogen werden. Dadurch sind diese Kosten höher als die allgemeine Betrachtung der Schäden

²² Zur Veranschaulichung der Beispiele ist eine Dimensionierung der Zeit (also in Tage, Monate etc.) nicht notwendig.

an Infrastruktur und Fahrzeugen. Jedoch sind Kosten nicht direkt ausschlaggebend für die Resilienz. Wie in den Definitionen erkennbar ist, werden Kosten nicht betrachtet. Daher können Kosten nur ein Indikator für die Resilienzbewertung sein. Hohe Kosten bedeuten dabei einen großen Aufwand, um Schäden zu beseitigen. Dadurch sind hohe Kosten ein Indikator für geringe Resilienz. Vorteil der Kostenbetrachtung sind die flexiblen Berechnungsmöglichkeiten. Wenn Schäden bestimmten Ereignissen zuzuordnen sind, kann so auf die spezifische Resilienz geschlossen werden. Bei einer Kostengesamt Betrachtung können Aussagen über die allgemeine Resilienz getroffen werden.

Die zwei vorgestellten ex post Verfahren zeigen die Schwierigkeiten, die bei einer Bewertung von Resilienz entstehen. Im Nachhinein lassen sich viele Merkmale feststellen, an denen Resilienz erkennbar ist. Jedoch ist diese Resilienzbewertung nach einem Störereignis nur bedingt von Nutzen, da es für diese keine Handlungsmöglichkeiten zur Erhöhung der Resilienz mehr gibt. Anstatt des Versuchs, die Resilienz ex post zu bewerten, sollten Maßnahmen zu einer erhöhten Resilienz in der Zukunft führen. Dazu muss eine Bewertung vor Störungen erfolgen, also ex ante.

6.2 Bewertung ex ante

Folgend werden die Möglichkeiten einer Bewertung der Resilienz vor bzw. unabhängig von einer Störung erörtert und bewertet. Eine eindeutige Bewertung ist dabei noch schwieriger, als bei der nachträglichen Betrachtung aus dem vorhergehenden Kapitel. Da die Art und Ausmaße einer Störung nur bedingt vorhersehbar sind, muss entweder mit Annahmen und Simulationen oder mit Vorhersagen und Analysen gearbeitet werden. Zur Bewertung der Resilienz können diese Verfahren kombiniert und gebündelt werden. Dazu können Bewertungsabläufe aus anderen Bereichen genutzt werden. Von Bedeutung ist dabei vor allem die Vulnerabilitätsanalyse, die aktuell vor allem im Zusammenhang mit dem Klimawandel durchgeführt wird. Diese hat doppelte Bedeutung für die Resilienz. Zunächst können die Ergebnisse dieser Vulnerabilitätsanalysen in Bezug auf den Klimawandel (auch als Klimafolgenabschätzung bezeichnet) genutzt werden, um den zukünftigen Bedarf an Resilienz zu verdeutlichen. Des Weiteren lässt sich das Schema der Analyse auch auf die Resilienzbewertung selbst übertragen.

Der Ablauf einer Klimafolgenabschätzung nach BMVBS (2011, S. 53) wird in Anhang 6 dargestellt. Daraus lassen sich Vorgaben für eine Resilienzbewertung erarbeiten, wie sie in Abbildung 17 dargestellt sind.

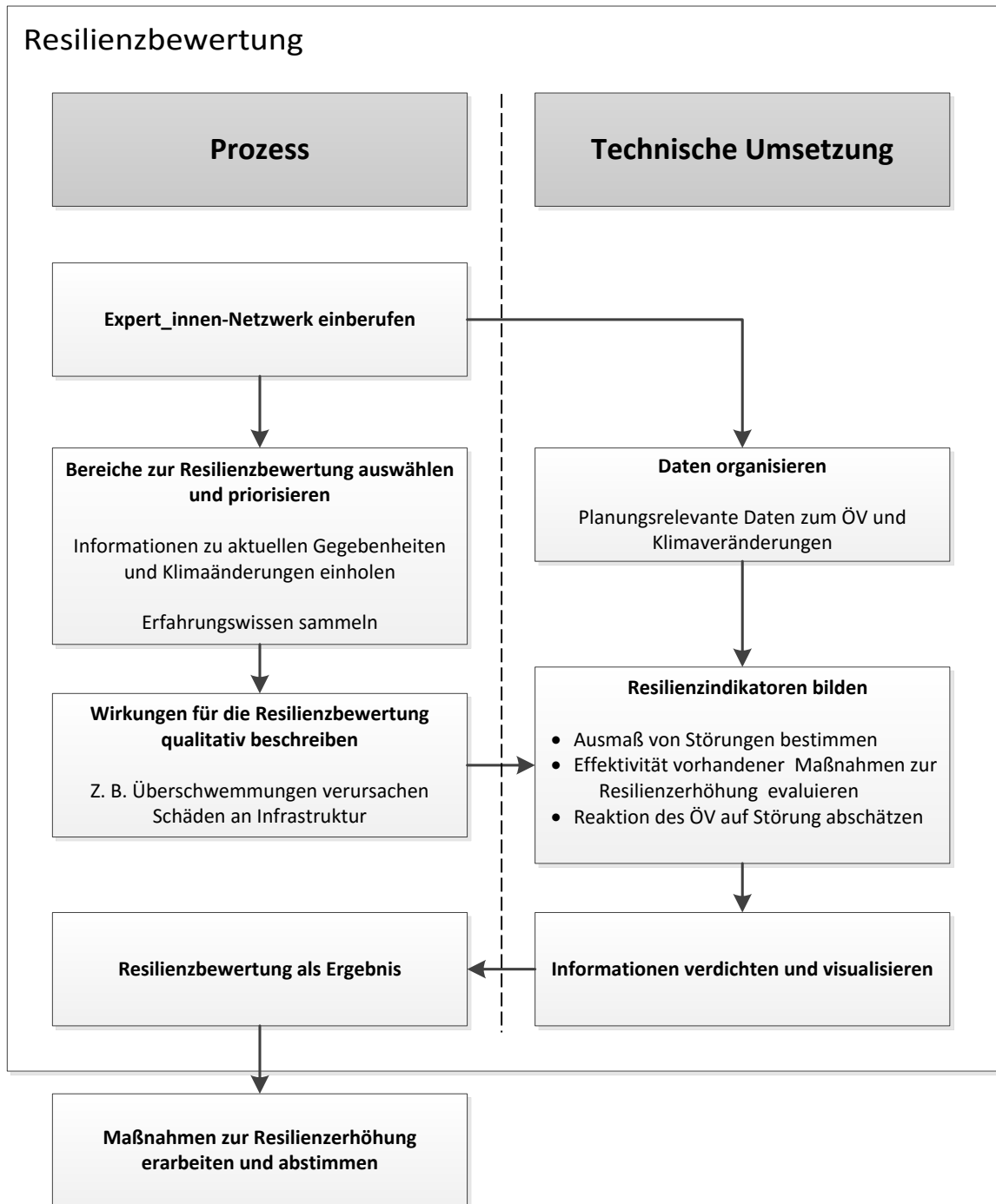


Abbildung 17 Schema zur Resilienzbewertung (eigene Darstellung)

Eine Resilienzbewertung erfolgt demnach als Prozess in mehreren Schritten. Zunächst werden Expert_innen aus den betroffenen Gebieten einberufen. Für Resilienz im ÖV

werden vor allem Vertreter_innen der ÖV-Unternehmen, Planungsbehörden auf Kommunal-, Landes- und Bundesebene und Wissenschaft (z. B. Klimaforschung) benötigt. Weitere Personen können je nach Bedarf zugezogen werden.

Um zu einem klaren Ergebnis zu gelangen, erfolgt eine Eingrenzung der Bewertung auf eine vorbestimmte spezifische Resilienz. Wegen der hohen Bedeutung von Hochwasser werden diese weiter exemplarisch zur Anschauung dienen. Durch die Konzentration auf Hochwasser können nun gezielt Informationen zu aktuellen Gegebenheiten organisiert werden. Dazu zählt insbesondere das Sammeln von Daten u. a. zu vergangenen Hochwassern und Lage der betrachteten Infrastruktur. Klimadaten werden ebenfalls betrachtet und dienen der Abschätzung der zeitlichen Entwicklung und steigenden Eintrittswahrscheinlichkeit.

Mit den organisierten Daten werden die Wirkungen von Störereignissen beschrieben, also die Überflutung von ÖV Infrastruktur bei Hochwasser. Dieser Schritt ist der entscheidende in der Bewertung der Resilienz. In Simulationen oder Stresstests kann durch das angenommene Ausmaß der Störung die Betroffenheit des ÖV ermittelt werden. Die Aufstellung der Schäden erfolgt vor allem durch Erfahrungswerte aus vorhergehenden Hochwassern am betroffenen Ort oder anderen vergleichbaren Gebieten. In Abgrenzung zu einer reinen Schadensvorhersage wird die Effektivität der Resilienzerhöhungsmaßnahmen evaluiert. Es wird überprüft, ob die Strategien Adaption, Transformation und Mitigation wirksam sind, um die Resilienz zu erhöhen. Bei einfachen Schutzmaßnahmen wie einer Deicherhöhung ist ein Vergleichen der Deichhöhe mit dem erwarteten Hochwasser ausreichend. Bei komplexeren Adaptionen oder Transformationen muss die Wirkung beispielsweise durch Simulationen abgeschätzt werden. Auch hier können Erfahrungen aus anderen Bereichen zur Erhöhung der Verlässlichkeit dienen. In die Analyse der Maßnahmen zur Resilienzerhöhung wird auch die Reaktion des ÖV auf die Störung einbezogen. Aussagen zum Angebot vor und nach der Störung können dabei der Bewertung dienen. Dazu kann als Indikator die Berechnung des Resilienzwertes aus Kapitel 6.1 genutzt werden. Dabei ist eine Entscheidung notwendig, wie das Verhalten des ÖV nach der Störung bewertet werden soll. Je nach Anwendungsfall muss differenziert werden, ob die Geschwindigkeit der Erholung oder die Robustheit ausschlaggebend für die Resilienz ist.

Eine andere Möglichkeit zur Bewertung der Auswirkungen einer Störung auf ein ÖV-System ist die Anwendung der Netzwerktheorie. Das betroffene ÖV-System wird als Knoten (Haltestellen) und Kanten (Verbindungen) dargestellt. Damit lässt sich rechnerisch bestimmen, welche Knoten und Kanten besonders wichtig für das Netz sind. Zudem lassen sich die Auswirkungen eines Ausfalls von einem oder mehreren Elementen des Netzes berechnen (vgl. Berche, Ferber et al. 2009, S. 128 f.). Dadurch wird ermittelt, wie flexibel ein System auf Störungen reagieren kann. In diesem Fall ist die Flexibilität ein Indikator für Resilienz.

Einfacher ist die Bewertung, wenn klare Anforderungen an die Resilienz formuliert werden können. Im Fall des Demografischen Wandels ist dies in Bezug auf die Barrierefreiheit möglich. Dazu existieren klare Vorgaben in Normen und anderen Vorschriften. Eine Bewertung dieser spezifischen Resilienz kann demnach am Erfüllungsgrad der technischen Vorschriften durchgeführt werden.

Nach Abschluss der Bewertung werden die gewonnenen Informationen verdichtet und visualisiert. Dadurch kann eine weitere Priorisierung erfolgen und die Informationen für verschiedene Bereiche können gezielt gefiltert werden. Das Ergebnis dieses Prozesses ist dann eine Resilienzbewertung. Diese wird nicht auf Skalen oder in anderen Zahlen ausgedrückt, sondern ist als Gesamtergebnis qualitativ. Mit der Resilienzbewertung kann dann entschieden werden, ob weitere Maßnahmen zur Resilienzerhöhung notwendig sind.

Der Vorteil dieses Bewertungsschemas besteht in der Offenheit der Verfahren, die zur Bewertung herangezogen werden, und den breiten Einsatzmöglichkeiten für unterschiedliche Anwendungsbereiche. Durch kleine Änderungen kann so auch die spezifische Resilienz gegen Terrorangriffe oder den Demografischen Wandel bestimmt werden. Nachteilig ist, dass durch die qualitative Bewertung keine klaren Werte (wie Noten) die Resilienz beschreiben. Dadurch ist der Aufwand die Ergebnisse zu kommunizieren und zu erklären höher.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Thema dieser Arbeit war Resilienz im ÖV. Dabei lag der Schwerpunkt im ÖV auf dem Schienenverkehr. Aus den verschiedenen Auffassungen von Resilienz wurde eine neue Definition für den ÖV entwickelt:

„Resilienz ist die Fähigkeit des ÖV, auf Störungen und Krisen so zu reagieren, dass es zu keiner langanhaltenden Unterbrechung des Betriebes kommt. Veränderten Bedingungen muss sich der resiliente ÖV so anpassen, dass die übergeordneten Funktionen und Eigenschaften des ÖV erhalten bleiben“ (s. Kapitel 4.1).

Die Resilienz im ÖV wurde in fünf Dimensionen unterteilt: Infrastruktur, Fahrzeuge, Umwelt, Prozesse/Betrieb und Menschen. Zur Resilienzerhöhung müssen also die entsprechenden Dimensionen und deren Interaktion beachtet werden.

Resilienz in technischen Bereichen bezieht sich auf bekannte Störungsquellen. Diese wurden unterteilt in Natur- und Wetterereignisse sowie anthropogene Krisen und Störungen, die in Tabelle 4 zusammengefasst sind. Im weiteren Verlauf der Arbeit erfolgte eine Fokussierung auf Überflutung, Terrorismus und Demografischen Wandel sowie deren Einfluss auf den ÖV.

Tabelle 4 Zusammenfassung der Krisen und Störungen (s. Kapitel 3)

Krisen und Störungen	Ausprägungen
Wetterereignisse	Schneefall, Kälte, Hitze, Starkregen, Sturm, Blizzard
Naturereignisse	Busch- und Waldbrände, Blitzschlag, Dürre, Erdbeben, Überflutungen, Tsunami, Vulkanausbrüche, Epidemien, Pandemien, kosmische Ereignisse
Anthropogene Krisen und Störungen	Unfälle, Bürgerkriege, internationale Kriege, Terrorismus, Aufstände, Sabotage, gesellschaftliche Prozesse (Demografischer Wandel, Urbanisierung, Stadterneuerung, Strukturwandel)

Der Klimawandel wird sich verschärfend auf die Natur- und Wetterereignisse auswirken. Es ist beispielsweise mit einer Steigerung der Intensität und Häufigkeit von Starkniederschlägen zu rechnen.

Zur Verdeutlichung, dass eine Steigerung der Resilienz notwendig ist, wurden drei Beispiele vorgebracht. Zunächst wird darin das Hochwasser aus dem Sommer 2013 thematisiert, welches große Schäden an Bahninfrastrukturen in Sachsen-Anhalt verursachte. Deren Wiederherstellung wird teilweise bis zum Jahr 2021 andauern. Es wurde auch gezeigt, dass durch gute Vorbereitung (beispielsweise durch Ausbau sensibler elektronischer Teile vor einem Hochwasser) die Resilienz verbessert und Schäden reduziert werden können. Als Gemeinsamkeit bei der Beseitigung von Infrastrukturschäden stellte sich heraus, dass geltendes Planungsrecht die notwendigen Neubauten und Reparaturen teilweise lange verzögert. Des Weiteren wurden am Beispiel eines unterbesetzten Stellwerkes in Mainz die Auswirkungen von Personalmangel (beispielsweise durch den Demografischen Wandel oder Epidemien) auf den Betrieb verdeutlicht.

In Bezug auf die drei Schwerpunkte wurden Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz vorgeschlagen. Bei Klimawandel und Wetter ergeben sich diese aus den Strategien Adaption, Transformation und Mitigation.

Die Adaption teilt sich in die Bereiche Rückzug, Schutz und Angleichung auf. Je nach Ausgangslage muss entschieden werden, welches Vorgehen sinnvoller ist. Vor allem bei diesen Maßnahmen fällt auf, dass sich Resilienz oft als Kompromiss oder Trade-off zwischen einem Begriffspaar darstellt, z. B. Stabilität und Fragilität. Zur Gewährleistung einer anhaltenden Resilienz durch Adaption muss diese als Prozess in einem Zyklus durchgeführt werden. In regelmäßigen Abständen bzw. nach speziellen Ereignissen muss also der Erfolg der Adaption überprüft werden.

Die Mitigation beinhaltet eine Reihe von Umweltschutzmaßnahmen. Darin müssen sowohl der ÖV attraktiver gestaltet, als auch seine Treibhausgas-Emissionen reduziert werden.

Bei einer Transformation wird ein ganzes System in einen neuen Status gebracht. Es handelt sich also um eine Steigerung von Adaption und Mitigation.

Der Demografische Wandel verlangt ebenfalls angepasste Methoden, um die Resilienz in diesem Bereich zu erhöhen. Insbesondere müssen Auswirkungen auf die Altersstruktur der Mitarbeiter_innen aber auch der Fahrgäste beachtet werden. Wichtig ist sowohl eine

Anpassung von Personal und Arbeit als auch eine barrierefreie und altersgerechte Gestaltung des ÖV für die älteren Fahrgäste.

Ein besonders aktuelles Thema stellen Terroranschläge dar. Zur Erhöhung der Resilienz gegen Terror stehen aktive und passive Maßnahmen zur Verfügung. Die aktiven Methoden beinhalten vor allem eine Verstärkung der Überwachung durch Personal oder Technik. Durch passive Maßnahmen werden hingegen Bauweisen und Design so weit verändert, dass Terroranschläge erschwert oder deren Folgen verringert werden.

Nach der Beschreibung von Maßnahmen zur Resilienzerhöhung erfolgte die Betrachtung der Möglichkeiten zur Resilienzbewertung. Diese ist grundsätzlich vor und nach einem Störereignis möglich. Die Bewertung ex post ist dabei einfacher, weil hier alle Daten und eventuelle verursachte Schäden schon bekannt sind. Als Resilienzwert bietet sich zur Veranschaulichung der Quotient aus dem Angebot nach der Störung und dem ursprünglichen Angebot vor der Störung an. Durch diesen Wert kann auf die Resilienz geschlossen werden, jedoch muss dazu entschieden werden, welche Anforderungen an diese gestellt werden. Ob beispielsweise eine schnelle Wiederaufnahme des kompletten Betriebs wichtig ist, oder keine Unterbrechung des Betriebs Priorität hat. An diesem Beispiel wird deutlich, dass die Bewertung der Resilienz sehr komplex ist und daher an jeden Fall angepasst werden muss. Dieser Ansatz wird in der Bewertung ex ante vorgenommen. Bei dieser qualitativen Untersuchung der Resilienz werden in mehreren Schritten Daten und Informationen gesammelt, die dann zu einer Bewertung verdichtet werden. Als Instrumente können dazu u. a. die Netzwerktheorie genutzt werden. Dieses Bewertungsverfahren ist offen und auf diverse Anwendungsfälle modifizierbar. Die Bewertungsergebnisse liegen in qualitativer Form vor.

Diese Arbeit hat gezeigt, wie wichtig Resilienz ist und dass deren Bedeutung weiter zunehmen wird. Zudem ist es möglich, das bereits vorhandene Konzept der Resilienten Stadt auf andere Gebiete wie den ÖV zu übertragen.

7.1 Diskussion und Ausblick

Das Feld der Resilienz ist sehr groß und umfassend. Selbst mit den vorgenommenen Eingrenzungen mussten einige Aspekte vernachlässigt werden, die an anderer Stelle

weitere Betrachtung finden sollten. Vor allem durch die immer deutlicher werdenden Folgen des Klimawandels ist mit einem größeren Engagement im Gebiet der Resilienzforschung zu rechnen. Von der Gesamtbetrachtung der Resilienten Stadt muss eine Fokussierung auf die einzelnen Stadtbestandteile erfolgen. Diese Arbeit hat im ÖV Grundlagen gelegt, welche in vielen Bereichen noch vertieft werden müssen. Insbesondere die Bewertung bedarf einer Erweiterung und genaueren Untersuchung, um einen tiefergehenden quantitativen Ansatz zu entwickeln. Die Aufstellung der Kriterien dazu sollte interdisziplinär erfolgen, um so möglichst viele Dimensionen der Resilienz abdecken zu können. Zur besseren Bewertung trägt auch eine bessere Evaluation der Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz bei. Dazu bietet sich eine quantitative Untersuchung der Kosten und Wirkungen an. Zusätzlich sollten weitere Möglichkeiten der Netzwerktheorie untersucht werden, und in wie weit damit durchgeführte Berechnungen zum Aufzeigen von Resilienzdefiziten beitragen können.

Konflikte können generell beim Verständnis von Resilienz auftreten. Wie in der Arbeit beschrieben, existieren mehrere Definitionen, die teilweise große Unterschiede aufweisen. Für diese Arbeit wurden die Definitionen genutzt, die nach Ansicht des Autors am verbreitetsten und für das Thema passendsten sind. Dazu gehört vor allem die von Walker und Salt (2006; 2012). Bei der Wahl von anderen Resilienzauffassungen hätten mitunter andere Ergebnisse entstehen können. Eine engere, einheitlichere Definition der Resilienz kann in Zukunft dabei helfen, die Kritik der Unschärfe und Beliebigkeit des Begriffs zu entkräften. Durch die breite Einsatzmöglichkeit des Konzeptes ist es jedoch fraglich, ob so eine Definition möglich ist.

Die Informationen zum Erstellen dieser Arbeit wurden soweit wie möglich aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen entnommen. Hierzu zählen u. a. Forschungsstudien wie WEATHER (Enei, Doll et al.), Wissenschaftsjournale und Bücher. Insbesondere bei den Beispielen fehlender Resilienz mussten die Informationen jedoch hauptsächlich aus Medien wie Tageszeitungen oder Pressemitteilungen bezogen werden. Dadurch wurden möglicherweise Daten übernommen, die nicht objektiv sind. Diese wissenschaftlichen Ungenauigkeiten beziehen sich hauptsächlich auf unternehmensbezogene Informationen und die Höhe von Schäden. Das Ausmaß dieser Schäden ist unvollständig, da keine ganze volkswirtschaftliche Betrachtung erfolgte, sondern lediglich unternehmensbezogene Aufwendungen gezählt wurden. Daher

unterliegen Kosten und Schäden einer gewissen Unsicherheit. Nach Einschätzung des Autors konnte eine Nutzung der Angaben trotzdem erfolgen, da diese Ungenauigkeiten die Aussagen der Beispiele nicht beeinträchtigen.

Auch die Maßnahmenentwicklung zur Resilienzerhöhung für konkrete Gebiete oder Anwendungsfälle bietet noch großes Potential. Neben Hochwasser entstehen regelmäßig Sturmschäden an ÖV-Infrastruktur, wie im genannten Beispiel in Nordrhein-Westfalen. Auch für diese Fälle müssen Maßnahmen erarbeitet werden, damit die Resilienz gegen Stürme und Gewitter erhöht werden kann. Auch weitere Wetter- und Naturereignisse dürfen nicht vernachlässigt werden.

Eine Unterschätzung anthropogener Krisen und Störungen muss ebenfalls verhindert werden. Gerade in diesen Fällen wird ein interdisziplinärer Ansatz notwendig, da technische und gesellschaftliche Themen relevant sind. Insbesondere Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz gegen Terroranschläge müssen vor dem Hintergrund einer vermutlich wachsenden Terrorgefahr beschleunigt werden.

Interessant für alle Bereiche ist ferner, in wieweit eine Transformation von Teilen des ÖV die Resilienz verstärken und wie eine solche Transformation aussehen kann. Dabei werden vor allem innovative Konzepte eine entscheidende Rolle spielen.

Wichtig für die Erhöhung der Resilienz ist der Abbau von Resilienz hemmenden Strukturen. Vor allem im Planungsrecht müssen diese gefunden und behoben werden. Hinzu kommt die Notwendigkeit der Verbreitung des Konzepts der Resilienz und damit die Ablösung alter Paradigmen, wie der Annahme, dass Störungen mit genügend Aufwand verhindert werden können und damit eine 100%ige Sicherheit möglich ist.

Nur durch ein Umdenken und Akzeptieren von Realitäten wie Klimawandel oder Demografischem Wandel kann das Konzept der Resilienz letztendlich erfolgreich sein.

8 Literaturverzeichnis

- ADELPHI; PRC; EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- AMT FÜR STATISTIK (AfS) (2013): Magdeburger Statistik. Quartalsbericht 1/2013. Hg. v. Landeshauptstadt Magdeburg, Amt für Statistik. Magdeburg.
- BERCHE, B.; FERBER, C. von; HOLOVATCH, T.; HOLOVATCH, Y. (2009): Resilience of public transport networks against attacks. In: *The European Physical Journal B* 71 (1), S. 125–137.
- BERLINER VERKEHRSBETRIEBE (BVG) (2014): Sicher ankommen. Sicherheitsbericht der Berliner Verkehrsbetriebe 2014. Berlin.
- BIRKMANN, J. (2008): Globaler Umweltwandel, Naturgefahren, Vulnerabilität und Katastrophenresilienz. In: *Raumforschung und Raumordnung* 66 (1), S. 5–22.
- BRAND, F.; HOHEISEL, D.; KIRCHHOFF, T. (2011): Der Resilienz-Ansatz auf dem Prüfstand. Herausforderungen, Probleme, Perspektiven. In: Bayrische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Hg.): *Landschaftsökologie. Grundlagen, Methoden, Anwendungen*. Laufen: ANL (Laufener Spezialbeiträge), S. 78–83.
- BUNDESMINISTERIUM DES INNERN (BMI) (Hg.) (2009): Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen. KRITIS-Strategie. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (BMVBS) (Hg.) (2011): Vulnerabilitätsanalyse in der Praxis. Inhaltliche und methodische Ansatzpunkte für die Ermittlung regionaler Betroffenheiten (BMVBS-Online-Publikation, 21/2011).
- BUNDESREGIERUNG (BR) (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung.
- CHELLERI, L.; OLAZABAL, M. (2012): Multidisciplinary perspectives on urban resilience. A workshop report. 1. Aufl. Bilbao: BC3, Basque Centre for Climate Change.

- COLUSSI, M. M.; LEWIS, M.; ROWCLIFFE, P. (2000): The community resilience manual. A resource for rural recovery & renewal. Port Alberni, B.C.: Centre for Community Enterprise.
- DEUTSCHE BAHN AG (DB AG) (2014a): Deutsche Bahn Geschäftsbericht 2013. DB2020 - Unser Kompass auch in schwierigen Zeiten. Berlin.
- DIN 18040-3, Dezember 2014: Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 3: Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum.
- DZIEKAN, K. (2011): Öffentlicher Verkehr. In: Oliver Schwedes (Hg.): Verkehrspolitik. Eine interdisziplinäre Einführung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 317–340.
- EICHHORST, U. (2009): Adapting Urban Transport to Climate Change. Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities. Module 5f. Hg. v. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn.
- ENEI, R.; DOLL, C.; KLUG, S.; PARTZSCH, I.; SEDLACEK, N.; NESTEROVA, N. et al. (2011): Vulnerability of transport systems - Main report. Transport Sector Vulnerabilities within the research project WEATHER (Weather Extremes: Impacts on Transport Systems and Hazards for European Regions) funded under the 7th framework program of the European Commission. Fraunhofer-ISI.
- FTA OFFICE OF RESEARCH DEMONSTRATION AND INNOVATION (FTA) (Hg.) (2004): Transit Security Design Considerations. Final Report.
- GEGNER, M.; SCHWEDES, O. (2014): Der Verkehr des Leviathan. Zur historischen Genese des städtischen Verkehrs im Rahmen der Daseinsvorsorge. In: Oliver Schwedes (Hg.): Öffentliche Mobilität. Perspektiven für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung. 2. Aufl. 2014. Wiesbaden: Springer VS, S. 47–68.
- HAASE, R. (2009): Die Einordnung des ÖPNV in den Entwicklungsplan Elektromobilität. Notwendigkeit und Chance fuer elektrische Stadtbussysteme in deutschen Modellregionen. In: *Der Nahverkehr* 27 (7/8), S. 17–22.
- HARTER, S. (2015): Rothenseer Trasse: MVB baut erst 2019. Fördermittel sind da / Planfeststellungsverfahren nötig. In: *Magdeburger Volksstimme*, 11.11.2015, S. 19.

- HEBENSTREIT, F.; SCHWURACK, R.; KIPPER, R.; WOLF, J. (2014): Hochwasser Juni 2013 - Überflutung einer Festen Fahrbahn und deren Folgen. In: *ETR Eisenbahntechnische Rundschau* 63 (3), S. 22–27.
- HITTHALER, A. (2011): Wieder ein Modewort - Resilienz. In: *Planerin* (5), S. 43–44.
- HOLZ-RAU, C. (2011): Verkehr und Verkehrswissenschaft. Verkehrspolitische Herausforderungen aus Sicht der Verkehrswissenschaft. In: Oliver Schwedes (Hg.): *Verkehrspolitik. Eine interdisziplinäre Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 115–139.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2014): *Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genf.
- JIN, J. G.; TANG, L. C.; SUN, L.; LEE, D.-H. (2014): Enhancing metro network resilience via localized integration with bus services. In: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 63, S. 17–30.
- KEGLER, H. (2014): *Resilienz. Strategien & Perspektiven für die widerstandsfähige und lernende Stadt*. Basel: Birkenhäuser; Bouverlag (Bauwelt Fundamente, 151).
- LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (LHW) (2014): *Bericht über das Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen-Anhalt. Entstehung, Ablauf, Management und statistische Einordnung*.
- MENDONÇA, S.; PINA E CUNHA, MIGUEL; RUFF, F.; KAIVO-OJA, J. (2009): Venturing into the Wilderness. In: *Long Range Planning* 42 (1), S. 23–41.
- MOLOTCH, H. L. (2012): *Against security. How we go wrong at airports, subways, and other sites of ambiguous danger*. Unter Mitarbeit von Noah McClain. Princeton: Princeton University Press.
- MÜLLER, U. (2010): *Hochwasserrisikomanagement*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- NEWMAN, P.; BEATLEY, T.; BOYER, H. (2009): *Resilient Cities. Responding to peak oil and climate change*. Washington D.C.: Island Press.

- OTTO-ZIMMERMANN, KONRAD (Hg.) (2011): Resilient Cities. Cities and Adaptation to Climate Change ; Proceedings of the Global Forum 2010. Dordrecht [u.a.]: Springer (Local sustainability, 1).
- PFLITSCH, A.; BRÜNE, M.; RINGEIS, J.; KILLING-HEINZE, M. (2010): "OrGaMIR"-Development of a safety system for reaction to an event with emission of hazardous airborne substances-like a terrorist attack or fire-based on subway climatology. In: *4th International Symposium on Tunnel Safety and Security*, zuletzt geprüft am 20.10.2015.
- PICKETT, S.; CADENASSO, M. L.; GROVE, J. M. (2004): Resilient cities. Meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. In: *Landscape and Urban Planning* 69 (4), S. 369–384.
- POWELL, J.; FLETCHER, D. (2011): The need for developing an effective and acceptable engineering response to terrorist attacks on railway systems. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 225 (4), S. 359–371.
- RICHTER, G.; BODE, S.; KÖPER, B. (2012): Demografischer Wandel in der Arbeitswelt. Hg. v. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund.
- SCHUBERT, K.; KLEIN, M. (2011): Das Politiklexikon. Begriffe, Fakten, Zusammenhänge. Lizenzausg., 5., aktualisierte und erw. Aufl. Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung (Schriftenreihe / Bundeszentrale für Politische Bildung, Bd. 1174).
- SIEGMANN, J. (2013): Anpassung des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs an die Anforderungen älterer Menschen. In: Bernhard Schlag und Klaus J. Beckmann (Hg.): *Mobilität und demografische Entwicklung*. Köln: TÜV Media (Mobilität und Alter, 07), S. 267–297.
- SIEVERTS, T. (2013): Am Beginn einer Stadtentwicklungsepoche der Resilienz? Folgen für Architektur, Städtebau und Politik. In: Wüstenrot Stiftung (Hg.): *Nachdenken über Städtebau. Bausteine für eine Interpretation im 21. Jahrhundert*. Unter Mitarbeit von Aljoscha Hofmann, Frank Roost und Barbara Schöning. Berlin: DOM publ (Grundlagen, 22), S. 153–167.

- STEIN, C.; MALITZ, G. (2013): Das Hochwasser an Elbe und Donau im Juni 2013. Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes (Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 242).
- TOPP, H. H. (2006): Demografischer Wandel und Verkehr. Wirkungen und Konsequenzen. In: *Internationales Verkehrswesen* 58 (3), S. 85–91.
- VAJDA, A.; TUOMENVIRTA, H.; JUGA, I.; NURMI, P.; JOKINEN, P.; RAUHALA, J. (2014): Severe weather affecting European transport systems: the identification, classification and frequencies of events. In: *Nat Hazards* 72 (1), S. 169–188.
- VALE, L. J.; CAMPANELLA, T. J. (2005): Introduction. The Cities Rise Again. In: Lawrence J. Vale und Thomas J. Campanella (Hg.): *The resilient city. How modern cities recover from disaster*. New York: Oxford University Press, S. 3–23.
- VALLÉE, D. (2013): Klimafolgenanpassung im öffentlichen Personenverkehr. In: *ZEVrail* 137 (11-12), S. 426–432.
- WALKER, B.; SALT, D. (2012): *Resilience Practice. Engaging the Sources of Our Sustainability*: Island Press.
- WALKER, B. H.; SALT, D. (2006): *Resilience thinking. Sustaining ecosystems and people in a changing world*. Washington, DC: Island Press.
- WICHSER, J.; SCHNEEBELI, H.; BOLLINGER, S. (2005): *Fachbegriffe des öffentlichen Verkehrs : Forschungsarbeit zur Grundnorm „Öffentlicher Personenverkehr und Schienengüterverkehr“ des VSS*. ETH, IVT, Zürich.
- ZANDER, M. (2011): Einleitung. In: Margherita Zander (Hg.): *Handbuch Resilienzförderung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 8–30, zuletzt geprüft am 07.10.2015.
- ZÜRICH VERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT AG (ZV) (2014): *Hochwasser 2013 in Mitteleuropa: eine Retrospektive*. Risk Nexus. Zürich.

8.1 Internetressourcen

- BARNER, D. (2013): Sicherstellung Besetzung Fahrdienstleiter. Strategien zur Vermeidung von Engpässen. Fulda. Online verfügbar unter https://fahrweg.dbnetze.com/file/fahrweg-de/2394208/9e28gzZ_-7eJZKDM61BwvelrEH0/4526754/data/vortrag_barner.pdf, zuletzt geprüft am 17.09.2015.
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (bpb) (Hg.) (2013): Die soziale Situation in Deutschland. Krankenstand. Zahlen und Fakten. Online verfügbar unter <http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61810/krankenstand>, zuletzt geprüft am 28.10.2015.
- BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (bpb) (Hg.) (2014): 10 Jahre Terroranschläge in Madrid. Online verfügbar unter <http://www.bpb.de/politik/hintergrund-aktuell/180328/10-jahre-terroranschlaege-in-madrid-11-03-2014>, zuletzt geprüft am 16.10.2015.
- CENTER FOR DISASTER MANAGEMENT AND RISK REDUCTION TECHNOLOGY (CEDIM) (2012): Erdbebenrisiko. Online verfügbar unter <https://www.cedim.de/1017.php>, zuletzt aktualisiert am 31.05.2012, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- DB MOBILITY LOGISTICS AG (DB ML AG) (2013): Ab 9. September mehr Züge zwischen Hannover und Berlin. Online verfügbar unter <http://archiv.berliner-verkehr.de/2013/08/30/bahnverkehr-regionalverkehr-ab-9/>, zuletzt aktualisiert am 30.08.2013, zuletzt geprüft am 16.09.2015.
- DEUTSCHE BAHN AG (DB AG) (2014b): Bahn setzt Rekrutierungskurs fort und stellte dieses Jahr mehr als 7.000 Mitarbeiter ein. Berlin. Online verfügbar unter http://www.deutschebahn.com/presse/frankfurt/de/hintergrund/themendienste/8597718/mehr_mitarbeiter.html, zuletzt geprüft am 17.09.2015.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Hg.) (2005): Wetterlexikon. Die Vb-Wetterlage. Online verfügbar unter <http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=V&DAT=Vb-Wetterlage>, zuletzt aktualisiert am 05.08.2005, zuletzt geprüft am 10.10.2015.

- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V. (DLR) (Hg.) (2013a): Deutschland Hochwassersituation 2013, Satelliten-/Luftbildinformation P34, Magdeburg. Hochwassersituation am 10. Juni 2013. Online verfügbar unter http://www.zki.dlr.de/de/system/files/product/map/medium/DLR-ZKI-DE-005-deutschland-hochwasser-2013-betroffene-flaeche-detail-elbe-magdeburg-P34-V01_medium_0.jpg, zuletzt geprüft am 14.10.2015.
- DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V. (DLR) (Hg.) (2013b): Deutschland Hochwassersituation 2013, Satellitenbildinformation P34b, Magdeburg Gewerbegebiet Nord. Online verfügbar unter http://www.zki.dlr.de/de/system/files/product/map/medium/DLR-ZKI-DE-005-deutschland-hochwasser-2013-betroffene-flaeche-magdeburg-P34b-V01_medium.jpg, zuletzt geprüft am 14.10.2015.
- DOLL, N. (2014): Sturm in NRW kostet die Bahn 60 Millionen Euro. Online verfügbar unter <http://www.welt.de/wirtschaft/article129217572/Sturm-in-NRW-kostet-die-Bahn-60-Millionen-Euro.html>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2014.
- GÜNTHER, E. (o. J.): Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Resilienz. Hg. v. Springer Gabler Verlag. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/255105/resilienz-v4.html>, zuletzt geprüft am 06.08.2015.
- HARTER, S. (2013): 130 Millionen Euro bringen die MVB ins Schwitzen. Online verfügbar unter http://www.volksstimme.de/nachrichten/magdeburg/1164229_130-Millionen-Euro-bringen-die-MVB-ins-Schwitzen.html, zuletzt aktualisiert am 24.10.2013, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- JAILBIRD (2005): Feste Fahrbahn FFBögl. Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 2.0 de über Wikimedia Commons -. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Feste_Fahrbahn#/media/File:Feste_Fahrbahn_FFB%C3%B6gl.jpg, zuletzt geprüft am 08.10.2015.
- MAGDEBURGER VERKEHRSBETRIEBE GMBH & Co. KG (MVB) (2013a): Ein Unternehmen abseits der Normalität! Online verfügbar unter <http://www.mvbnet.de/mvb-ein-unternehmen-abseits-der-normalitaet/>, zuletzt geprüft am 14.09.2015.

- MAGDEBURGER VERKEHRSBETRIEBE GMBH & Co. KG (MVB) (2013b): Straßenbahnverkehr in Rothensee. Online verfügbar unter <http://www.mvbnet.de/mvb-straszenbahnverkehr-in-rothensee/>, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- MAGDEBURGER VERKEHRSBETRIEBE GMBH & Co. KG (MVB) (2014a): Fahrplanänderungen im MVB-Netz. Online verfügbar unter <http://www.mvbnet.de/fahrplanaenderungen-im-mvb-netz-2>, zuletzt geprüft am 15.09.2015.
- MAGDEBURGER VERKEHRSBETRIEBE GMBH & Co. KG (MVB) (2014b): Nach Hochwasser: Straßenbahnbetrieb in den Herrenkrug wird wieder aufgenommen. Online verfügbar unter <http://www.mvbnet.de/nach-hochwasser-straszenbahnbetrieb-in-den-herrenkrug-wird-wieder-aufgenommen/>, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- MAGDEBURGER VERKEHRSBETRIEBE GMBH & Co. KG (MVB) (2015): Netzplan. Online verfügbar unter <http://www.mvbnet.de/downloads/pdf/Netzplan-Tag.pdf>, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- METROPOLITAN TRANSPORTATION AUTHORITY (MTA) (2010): If You See Something, Say Something. Online verfügbar unter <http://www.mta.info/news/2010/05/03/if-you-see-something-say-something>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2013, zuletzt geprüft am 19.10.2015.
- MH/ISRAELNETZ (2014): Nach den jüngsten Terroranschlägen hat die Jerusalemer Stadtverwaltung zum Schutz der Passanten Betonklötze an Haltestellen der Straßenbahn aufstellen lassen. Online verfügbar unter <http://www.israelnetz.com/hintergrund/detailansicht/aktuell/intifada-der-einzelgaenger-90335/>, zuletzt geprüft am 20.10.2015.
- NATIONAL CONSORTIUM FOR THE STUDY OF TERRORISM AND RESPONSES TO TERRORISM (START) (2015): Global Terrorism Database [Data file]. Online verfügbar unter <http://www.start.umd.edu/gtd>, zuletzt geprüft am 10.08.2015.
- RIEß, M. (2013): MVB sind abgeschnitten. Online verfügbar unter http://www.volksstimme.de/nachrichten/magdeburg/1089035_MVB-sind-abgeschnitten.html, zuletzt aktualisiert am 08.06.2013, zuletzt geprüft am 14.09.2015.

- RIEß, M. (2014): Provisorien für die Hochwasser-Strecken. Online verfügbar unter http://www.volksstimme.de/nachrichten/sachsen_anhalt/1298109_Provisorien-fuer-die-Hochwasser-Strecken.html, zuletzt aktualisiert am 23.06.2014, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- RIEß, M. (2015): Hochwasserschäden im Herrenkrug für 2,1 Millionen Euro beseitigt. Online verfügbar unter http://www.volksstimme.de/nachrichten/magdeburg/1472933_Hochwasserschaeden-im-Herrenkrug-fuer-21-Millionen-Euro-beseitigen.html, zuletzt aktualisiert am 08.05.2015, zuletzt geprüft am 14.09.2015.
- RP-ONLINE (2014): Sturmtief „Ela“ kostet die DVG 400.000 Euro. Unwetter über NRW. Online verfügbar unter <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/duisburg/sturmtief-ela-kostet-die-dvg-400000-euro-aid-1.4323441>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2014.
- STOLLER, D. (2013): Nach Chaos im Mainzer Hbf. soll jetzt Schlecker-Personal aushelfen. Online verfügbar unter <http://www.ingenieur.de/Branchen/Verkehr-Logistik-Transport/Nach-Chaos-im-Mainzer-Hbf-jetzt-Schlecker-Personal-aushelfen>, zuletzt geprüft am 15.09.2015.
- UN RESILIENT COMMUNITIES & CITIES PARTNERSHIP (UN) (2007): Description/achievement of initiative. Online verfügbar unter <https://sustainabledevelopment.un.org/partnership/?p=1622>, zuletzt aktualisiert am 01.12.2007, zuletzt geprüft am 07.10.2015.
- WEBER, T. (2015): Mehr Bahn, mehr Werke: Enercon stellt Signale für 2015. Online verfügbar unter <http://www.erneuerbareenergien.de/mehr-bahn-mehr-werke-enercon-stellt-signale-fuer-2015/150/434/84546/>, zuletzt geprüft am 08.12.2015.

Danksagung

Es gibt viele Personen, die mich immer unterstützt haben und ohne die ich mein Studium und diese Arbeit hätte nicht so gut bewältigen können. All jenen danke ich von Herzen. Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern, Jörg und Renate, die mich nach dem Bachelorabschluss und meinem Auslandsaufenthalt weiterhin vorbehaltlos finanzieren, ermuntern, beraten und motivieren. Das mir entgegengebrachte Vertrauen und Verständnis schätze ich sehr.

Meine Schwester Anna erhält meinen speziellen Dank, nicht nur, weil auch sie mich in allen Lebenslagen unterstützt, sondern weil sie beim letzten Elbehochwasser 2013 sehr viel Verantwortung übernommen hat.

Frau Sandra Reinert und Herrn Prof. Dr. Oliver Schwedes danke ich für die Betreuung und Korrektur dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich David Kohlrautz und meiner Mutter für Lektorat und fachliche Anmerkungen.

Die Veranstaltung „Abschlussklasse“ im Projekt Mobilität 2050 des Verkehrsclub Deutschland e.V. (VCD) gab mir zwei Mal die Möglichkeit, mich über mein Thema auszutauschen und so Ideen zu sammeln. Daher danke ich dem VCD-Team, insbesondere Anja Hänel, Anika Meenken und Steffi Windelen, sowie den weiteren Teilnehmer_innen.

Zuletzt sei hier meinen Freunden gedankt, die mich während der Bearbeitungszeit begleitet und mich in passenden sowie unpassenden Momenten abgelenkt haben.

Vielen Dank!

Axel Neubert, im Dezember 2015

Anhang

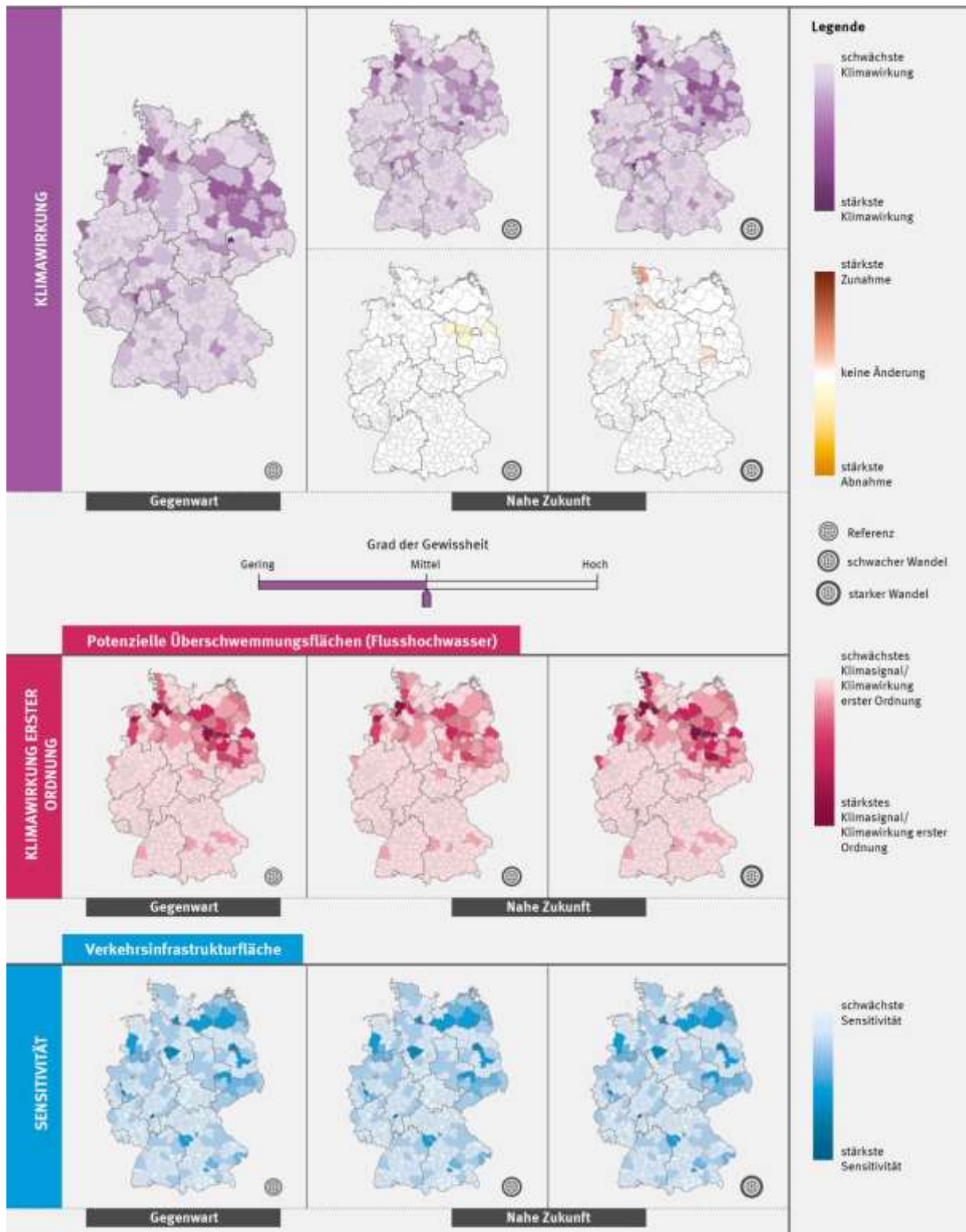
Anhang 1: Auswirkungen von Wetterphänomenen beim Überschreiten der in Kapitel 3.1 in Tabelle 1 genannten Schwellenwerte. (übersetzt, Vajda, Tuomenvirta et al. 2014, S. 177)	i
Anhang 2 Karten zum Indikator „Potenzielle Schäden an Verkehrsinfrastruktur durch Flusshochwasser“ (©adelphi, PRC et al. 2015, S. 390)	iii
Anhang 3 Satellitenbild Magdeburgs vom 10. Juni 2013 während des Elbehochwassers. In Kapitel 4.2.1.1 genannte Infrastruktur wurde gelb markiert. Ohne Maßstab (verändert durch Ergänzungen, ©DLR 2013a, online).....	iv
Anhang 4 Besonders bedeutsame arbeitsweltbezogene Risikofaktoren (Richter, Bode et al. 2012, S. 5)	v
Anhang 5 Grundprinzipien der barrierefreien Gestaltung laut DIN 18040-3	vi
Anhang 6 Ablauf einer quantitativen Klimafolgenabschätzung (BMVBS 2011, S. 53)	vii

Anhang 1: Auswirkungen von Wetterphänomenen beim Überschreiten der in Kapitel 3.1 in Tabelle 1 genannten Schwellenwerte. (übersetzt, Vajda, Tuomenvirta et al. 2014, S. 177)

Wetterphänomen und Schwellenwert	Typische Auswirkungen	Mögliche Konsequenzen
Schneefall ≥ 1 cm/24 h	Lokale Straßenglätte	Steigende Unfallzahlen
Schneefall ≥ 10 cm/24 h	Straßenglätte	Weiterhin steigende Unfallzahlen, Verspätungen und Ausfälle im Straßen-, Schienen-, und Luftverkehr
Schneefall ≥ 20 cm/24 h	Straßenglätte, Schneeverwehungen, schlechte Sicht	Verkehrsstörungen, hohe Unfallzahlen, Straßensperrungen, Schließung von Flughäfen, Ausfall und Verspätung von Zügen
Kälte ≤ 0 °C	Straßenglätte, Eisformationen, gefrierender Regen/Nebel	Steigende Unfallzahlen, Frostaufbruch an Straßen durch Wechsel von Frost- und Tauperioden
Kälte ≤ -7 °C	Nachlassende Wirkung von Auftausalz auf Straßen, Eisformationen auf Flüssen	Weiterhin steigende Unfallzahlen, Verspätungen und Ausfälle im Straßen-, Schienenverkehr, Unterbrechungen in der Binnenschifffahrt
Kälte ≤ -20 °C	Zufrieren von Flüssen, Einfrieren von Treibstoff und Bauteilen, Gesundheitsrisiken bei Aufenthalt im Freien	Ausfall und Verspätung von Zügen und in der Binnenschifffahrt, Behinderung von Arbeit im Freien, Treibstoffprobleme
Hitze ≥ 25 °C	Ermüdung von Fahrenden	Leicht erhöhte Unfallzahlen im Straßenverkehr
Hitze ≥ 32 °C	Ermüdung von Fahrenden, Hohe Temperatur an der Straßenoberfläche	Steigende Unfallzahlen, weiche Straßenoberfläche, dadurch Verformungen
Hitze ≥ 43 °C	Gefährlicher Hitzestress, Hohe Temperatur an der Straßenoberfläche und Eisenbahngleisen	Steigende Unfallzahlen, Schäden an Straßenoberflächen, Gleisverwerfungen

Wetterphänomen und Schwellenwert	Typische Auswirkungen	Mögliche Konsequenzen
Starkregen ≥ 30 mm/24 h	Wasser auf der Straße, reduzierte Haftung auf der Straße	Steigende Unfallzahlen
Starkregen ≥ 100 mm/24 h	Überflutung von Unterführungen und niedrig gelegenen Straßen, reduzierte Haftung auf der Straße, schlechte Sicht	Steigende Unfallzahlen, Verspätungen im Straßenverkehr, Schäden an Straßen, steigender Reparaturbedarf an Straßen und Gleisen
Starkregen ≥ 150 mm/24 h	Überflutung von Unterführungen und niedrig gelegenen Straßen, Überschwemmungen, reduzierte Haftung auf der Straße, schlechte Sicht, Erdrutsche/Schlammlawinen	Steigende Unfallzahlen, Verspätungen im Straßenverkehr, Schäden an Straßen, steigender Reparaturbedarf an Straßen und Gleisen
Sturm ≥ 17 m/s	Windwurf, verringerte Manövrierfähigkeit bei Fahrzeugen	Lokale Probleme im Straßen- und Schienenverkehr, Störungen in der Binnenschifffahrt
Sturm ≥ 25 m/s	Windwurf, umgeworfene Bäume, verringerte Manövrierfähigkeit bei Fahrzeugen, reduzierte Sichtweite durch aufgewirbelten Staub oder Schnee	Stromausfälle, Verspätungen und Ausfälle im Straßen-, Schienen-, und Luftverkehr, Störung von Fährverkehr
Sturm ≥ 32 m/s	Große Anzahl umgeworfener Bäume, Schäden an Verkehrssignalanlagen, Schäden an Infrastruktur, reduzierte Sichtweite, hohe Wellen	Einstellung der Fährverkehrs, Schließung von Flughäfen, Verspätungen und Ausfälle im Straßen- und Schienenverkehr, verbreitete und langanhaltende Stromausfälle
Blizzard Schnee ≥ 10 cm/24 h Sturm ≥ 17 m/s Kälte ≤ 0 °C	Umgefallene Bäume, Schneeverwehungen, Straßenglätte und glatte Startbahnen, schlechte Sicht	Steigende Unfallzahlen, Verspätungen und Ausfälle in allen Verkehrsmitteln

Anhang 2 Karten zum Indikator „Potenzielle Schäden an Verkehrsinfrastruktur durch Flusshochwasser“
 (©adelphi, PRC et al. 2015, S. 390)



Anhang 4 Besonders bedeutsame arbeitsweltbezogene Risikofaktoren (Richter, Bode et al. 2012, S. 5)

Physische Risikofaktoren	Psychosoziale Risikofaktoren	Organisationale Risikofaktoren
<ul style="list-style-type: none"> • Lastenhandhabung/schweres Heben • Ganzkörpervibrationen • Kniende/hockende Tätigkeit • Schwere körperliche Arbeit • Repetitive Bewegung Schulter • Repetitive Bewegung gebeugter Nacken • Dauer Mausnutzung • Statische Belastung der Nacken-Schulter-Muskulatur • Häufiges Treppensteigen/auf Leitern steigen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Arbeitsdichte/Arbeitsüberlastung • Geringe soziale Unterstützung am Arbeitsplatz • Geringe Arbeitszufriedenheit • Selbsteinschätzung Stress • Selbsteinschätzung Arbeitsfähigkeit • Überzeugung, dass Arbeit gefährlich ist • Emotionaler Aufwand • Psychische Anforderungen • Entscheidungsspielraum • „Job strain“¹ • Gratifikationskrisen² 	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtarbeit • Atypische Beschäftigungsverhältnisse

² Als berufliche Gratifikationskrise [...] wird ein Missverhältnis zwischen Verausgabung und Belohnung bezeichnet. [...]

Anhang 5 Grundprinzipien der barrierefreien Gestaltung laut DIN 18040-3

- „a) stufenlose Wegeverbindungen, insbesondere für Rollstuhl- und Rollatornutzer,*
- b) sichere, taktil und visuell gut wahrnehmbare Abgrenzungen verschiedener Funktionsbereiche (z. B. niveaugleicher Flächen für den Rad- und Fußgängerverkehr), insbesondere für blinde und sehbehinderte Menschen,*
- c) erschütterungsarm berollbare, ebene und rutschhemmende Bodenbeläge,*
- d) eine taktil wahrnehmbare und visuell stark kontrastierende Gestaltung von Hindernissen und Gefahrenstellen, insbesondere für blinde und sehbehinderte Menschen,*
- e) die Anwendung des Zwei-Sinne-Prinzips und*
- f) eine einheitliche Gestaltung von Leitsystemen, insbesondere für blinde und sehbehinderte Menschen“ (DIN 18040-3, S. 7).*

Anhang 6 Ablauf einer quantitativen Klimafolgenabschätzung (BMVBS 2011, S. 53)

