



Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zu Chancen und Risiken des Klimawandels - Verkehrsinfrastruktur -

Autor/innen: Esther Hoffmann, Maja Rotter
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Prof. Dr. Martin Welp
Fachhochschule Eberswalde

Stand: 12. Oktober 2009

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Straßen- und Schieneninfrastruktur	4
3	Maßnahmen zur Anpassung der Straßen- und Schieneninfrastruktur an den Klimawandel	6
4	Schlussfolgerungen.....	8
5	Literatur	9

1 Einleitung

Der Klimawandel stellt eine große Herausforderung an Sektoren und Unternehmen, die nicht nur einen Beitrag zum Klimaschutz leisten sollen, sondern sich an bevorstehende und bereits eintretende Klimaänderungen anpassen müssen. Hierfür sind möglichst genaue Szenarien zur regionalen Entwicklung des Klimas notwendig. Derzeit existieren mindestens vier Regionalisierungsmodelle (REMO, CLM, WETTREG und STAR), welche die vom International Panel on Climate Change (IPCC) definierten globalen Klimaszenarien auf die regionale Skala herunterrechnen. Die dynamischen Modelle (z. B. REMO (Jacob et al. 2008)) brechen die globalen Klimaprojektionen anhand physikalisch-numerischer Verfahren auf ein räumlich sehr viel differenzierteres Gitter von etwa 10 km horizontaler Auflösung herunter. Statistische Verfahren (z. B. WETTREG (Spekat et al. 2007)) projizieren dagegen meteorologische Zeitreihen ausgewählter Wetterstationen in Deutschland in die Zukunft.

Zwei wichtige Parameter für das Klima in Deutschland sind der Temperaturanstieg und die Änderungen im Niederschlag (vgl. Tabelle 1). Laut beobachteten Daten liegen acht der zehn wärmsten Jahre (seit 2001) im Zeitraum der letzten 20 Jahre (Deutscher Wetterdienst 2009). Allen Modellen zufolge wird die Jahresmitteltemperatur zukünftig ansteigen, die Projektionen liegen abhängig vom gewählten Modell zwischen ca. 1 und 2,5 °C Zunahme bis 2050. Bis 2100 können die Temperaturen vor allem im Süden und Südosten überdurchschnittlich stark ansteigen, je nach Szenario um bis zu 4°C. Besonders deutlich zeigt sich der Temperaturanstieg im Winter. Gleichzeitig können schneebedeckte Flächen sehr stark schrumpfen, wenn die Temperaturen stark zunehmen. Im deutschen Küstenraum fällt die Erwärmung der Ostseeküste mit 2,8°C stärker aus als die Erwärmung der Nordseeküste (2,5°C).

Tabelle 1: Zusammenfassung möglicher Änderungen (Temperatur, Niederschlag)

Mögliche regionale Änderungen in	2021-2050 ¹	2071-2100 ¹
Temperatur	+1,0 bis +2,2 °C im Jahresmittel	+2,0 bis +4,0 °C im Jahresmittel +3,5 bis +4,0 °C im Wintermittel
Niederschlag	0 bis -15% in der Jahressumme (vor allem im Osten) -5 bis -25% in der Sommersumme (vor allem im Osten) 0 bis +25% in der Wintersumme	Um 0 in der Jahressumme -15 bis -40% in der Sommersumme 0 bis +55% (regional maximal +70%) in der Wintersumme

Quelle: eigene Zusammenstellung nach Daten BMU & KomPass (2008: 1)

¹ Jeweils verglichen mit Referenzzeitraum 1961 - 1990

Die Niederschlagsmenge (vgl. Tabelle 1) wird sich voraussichtlich nur geringfügig ändern, bezüglich der regionalen und saisonalen Verteilung kann es jedoch deutliche Veränderungen geben. Im Gegensatz zu den Temperaturen gibt es in Bezug auf Niederschläge größere Unsicherheiten. Allen Modellen zufolge sinken die Niederschläge im Sommer, während die Winter feuchter werden (Spekat et al. 2007; Die Bundesregierung 2008; Jacob et al. 2008). Der Einsatz des REMO Modells ergibt für den Sommer in weiten Teilen Deutschlands weniger Niederschläge, besonders stark gehen die Sommerniederschläge in Süd- und Süd-Westdeutschland sowie in Nord-Ostdeutschland zurück (Jacob et al. 2008). Hier könnte es bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zu heute ein Minus von 30 % in den Sommerniederschlägen geben. Im Winter werden dagegen im Süden und Südosten mehr Niederschläge fallen, allerdings auf Grund der erhöhten Temperaturen weniger Schnee. Vor allem in den Mittelgebirgen Süd- und Südwest-Deutschlands kann bis zu ein Drittel mehr Niederschlag erwartet werden als heute. Somit drohen in den Sommermonaten im Nordosten Deutschlands Dürreperioden, während es im Südwesten feuchter wird. Auch WETTREG Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Winterniederschlag zunimmt - mit regionalen Unterschieden in der Ausprägung - und im Sommer stellt sich, den Szenarien zufolge, verbreitet eine Neigung zu steigender Trockenheit ein (Spekat et al. 2007).

Die deutsche Anpassungsstrategie stellt aufbauend auf regionalen Klimamodellen fest, dass Extremereignisse sich in ihrem Ausmaß steigern und häufiger werden können (Die Bundesregierung 2008). Beispielsweise könnten sich die Anzahl von Sommertagen ($T > 25^{\circ}\text{C}$) bis zum Ende des Jahrhunderts verdoppeln und die von heißen Tagen ($> 30^{\circ}\text{C}$) sogar verdreifachen. Ebenso wird die Intensität von Starkniederschlägen voraussichtlich ansteigen. In Bezug auf die Häufigkeiten von Sturmtagen sind noch detailliertere Untersuchungen nötig.

Während der Beitrag der Verkehrswirtschaft zum Klimaschutz in aller Munde ist, dringt das Thema Anpassungsbedarf der Verkehrsinfrastruktur erst in der letzten Zeit in die wissenschaftliche und politische Diskussion sowie in die Unternehmenspraxis. Verkehrsinfrastruktur gilt insgesamt als kritische Infrastruktur, da von ihrem Funktionieren viele andere wirtschaftliche und gesellschaftliche Funktionen abhängen. 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.“ (DStGB 2006: 6).²

Von der **Europäischen Kommission** liegt ein Weißbuch zur Anpassung an den Klimawandel vor, in dem das Thema Verkehrsinfrastrukturen länderübergreifend behandelt wird (COM 2009). Generell wird die Anpassung von Infrastrukturen als Aufgabe der Mitgliedsstaaten beschrieben, allerdings wird eine wichtige Rolle der EU zum Beispiel in der Entwicklung von Baunormen gesehen (COM 2009: 12). Als notwendige Anpassungsmaßnahme wird ein gemeinsames, koordiniertes Konzept zur Bewertung der Anfälligkeit kritischer Infrastrukturen durch Wetterextreme als Basis für strategische Entscheidungen über Netze und für die Aufrechterhaltung stabiler Verkehrsnetze und -dienstleistungen gesehen; zudem soll bei mit EU-Mitteln finanzierten Infrastrukturprojekten die Klimasicherheit frühzeitig beachtet werden; weiterhin wollen Kommission und Mitgliedsstaaten Leitlinien entwickeln, damit die Auswirkungen des Klimawandels bei Umweltverträglich-

² Siehe auch BMI 2005: 6.

keitsprüfungen, strategischen Umweltprüfungen und Raumplanungspolitiken berücksichtigt werden (COM 2009: 12).

Das Bundeskabinett hat im Dezember 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) beschlossen (Die Bundesregierung 2008). Die DAS umfasst einen Abschnitt zu Verkehrsinfrastruktur, der die Vulnerabilität von Straßen, Schienen, Luftfahrt, Seeschifffahrt und Binnenschifffahrt darstellt (Die Bundesregierung 2008: 37ff.). Als Aufgabe des Bundes wird beispielsweise aufgeführt, zu prüfen, ob und inwieweit die Bundesfernstraßen mittelfristig mit modifizierten Baustoffen an verlängerte Hitzeperioden und mit einer veränderten Dimensionierung der Entwässerungsinfrastruktur an stärkere Niederschläge angepasst werden sollen. Hierfür sind gegebenenfalls Anpassungen in Vorschriften notwendig.

Wichtige **Veranstaltungen** innerhalb von Deutschland waren das „Nationale Symposium zur Identifizierung des Forschungsbedarfs“ (27.-28. August 2008) im Rahmen der DAS (UFZ 2008), zu dem ein Thesenpapier zum Thema Verkehr und Kommunikation erstellt wurde (Lenz & Vallee 2008). Dieses hält als prioritäre Herausforderungen fest, dass verbesserte regionalisierte Daten und Szenarien inklusive Eintrittswahrscheinlichkeiten notwendig sind, dass ein Kataster risikobehafteter Infrastrukturen erstellt werden sollte, dass Schäden und Störungen in ihren Auswirkungen für Wirtschaft und Gesellschaft bewertet werden sollten und dass Anpassungen von Normen, Richtlinien und Unterhaltungsstrategien nötig sind (Lenz & Vallee 2008: 6). Weiterhin wurde auf dem 3. Nationalen Workshop des UBA „Klimawandel in Deutschland - Strategien der Anpassung“ (6.-7. November 2007) unter der Überschrift Katastrophenvorsorge und Bevölkerungsschutz auch Verkehrsinfrastruktur behandelt (KomPass 2007; Niehoff 2007). Hier wurde festgehalten, dass sich diese und andere kritische Infrastrukturen überwiegend in privater Hand befinden und daher die Privatwirtschaft gefordert ist, Anpassungsmaßnahmen zu entwickeln und umzusetzen (KomPass 2007: 5).

Im Rahmen dieser Kurzexpertise wird analysiert, welche Auswirkungen der Klimawandel auf die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland haben kann. Dabei wird der **Fokus auf Straßen- und Schieneninfrastruktur** gelegt. Der Luftverkehr wird in der deutschen Anpassungsstrategie als weniger vulnerabel eingeschätzt, hier wird vor allem Anpassungsbedarf in den Betriebsabläufen an Flughäfen und in der Flugsicherung gesehen (Die Bundesregierung 2008: 38). Die Wasserstraßeninfrastruktur weist gegenüber Schiene und Straße spezifische Besonderheiten auf (Schiffbarkeit, Wasserdargebot etc.), die teilweise bereits in Forschungsvorhaben³ sowie in anderen Veranstaltungen im Zusammenhang mit Anpassung im Hochwasserschutz behandelt wurden.

Daran anknüpfend werden potenzielle Anpassungsmaßnahmen für die behandelten Klimafolgen und ihre Auswirkungen auf die Straßen- und Schieneninfrastruktur vorgestellt.

³ Siehe hierzu z. B. das Forschungsprogramm „KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt - Entwicklung von Anpassungsoptionen“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (vgl. BMVBS 2007).

2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Straßen- und Schieneninfrastruktur

Zum Thema Vulnerabilität der Verkehrsinfrastruktur wurden international - insbesondere in den USA - einige detaillierte Studien erstellt. Besonders hervorzuheben ist hier eine Studie des US-amerikanischen Transportation Research Board (TRB 2008), die sich mit Vulnerabilität und potenziellen Anpassungsmaßnahmen beschäftigt und diese nach unterschiedlichen Verkehrswegen (Transport über Land, Luft und Wasser) differenziert. Eine weitere Untersuchung betrachtet detailliert mögliche Klimafolgen für den Transportsektor der Gulf Coast Region und entwickelt daraus Empfehlungen für Planer/innen und Forschung (Savonis et al. 2008). Auch für Seattle liegt eine detaillierte Untersuchung zu Klimafolgen an Verkehrsinfrastruktur, insbesondere Straßen und Brücken vor (Hoo & Sumitani 2005). Für Kanada untersuchten Lemmen und Warren (2004: 136ff., 140ff.) die Wirkungen des Klimawandels auf die kanadische Transportinfrastruktur und den Betrieb von Transportdienstleistungen. In Großbritannien erarbeitete das Department for Transport (2005) eine Studie zu den Folgen des Klimawandels auf den Transportsektor. Fokussierte Untersuchungen zu einzelnen Verkehrsmitteln liegen z. B. in Form einer Studie zur schwedischen (Lindgren et al. 2009) oder zur britischen Eisenbahn (RSSB 2004) vor.

Für Deutschland liegen dagegen bisher vergleichsweise wenige Erkenntnisse zur spezifischen Betroffenheit des Verkehrssektors bzw. der Verkehrsinfrastruktur vor. Die Vulnerabilität des Verkehrssektors wurde beispielsweise in der Studie von Zebisch et al. (2005) behandelt. Sie kommen zu dem Schluss, dass mögliche Auswirkungen und notwendige Anpassungsmaßnahmen im Verkehr bislang in Wissenschaft und Praxis kaum behandelt wurden und dass der Verkehrssektor bisher nicht angepasst ist, allerdings im Vergleich zu anderen Sektoren auch nur eine mäßige Vulnerabilität aufweist (Zebisch et al. 2005: 150). Ott und Richter (2008: 16) beschreiben den Verkehrssektor im Branchenvergleich als einen klimasensiblen Sektor. Eine Studie von Deutsche Bank Research (2007) zählt den Verkehrssektor zu den doppelten Verlierern des Klimawandels, da er sowohl durch die direkten Klimafolgen als auch durch die politische Regulierung zum Klimawandel bzw. Klimaschutz negativ betroffen ist.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt eine Untersuchung von KPMG International (2008), die Angaben von Unternehmen zum Carbon Disclosure Project auswertet und dabei feststellt, dass der Verkehrssektor bislang zwar wenig auf den Klimawandel vorbereitet, aber mit hohen Risiken konfrontiert ist; dabei beziehen sich die angeführten Risiken vor allem auf den regulatorischen Rahmen. Eine Untersuchung von Antworten zum Carbon Disclosure Project unter britischen Unternehmen hebt für den Transportsektor insbesondere Risiken für Infrastruktur, Unternehmensreputation und Reisekomfort hervor (Firth & Colley 2006: 22).

Als zu erwartende Klimaänderungen, die mit Folgen für die Verkehrsinfrastruktur verbunden sind, werden in den verschiedenen Studien die folgenden genannt:

- Zunahme von Hitzetagen
- Zunehmende Starkregenereignisse
- Zunahme von starken Stürmen

Besondere Herausforderungen bestehen zudem für Verkehrsinfrastruktur in Küstennähe. Weiterhin können Veränderungen der Vegetation zu Chancen und Risiken für Verkehrsinfrastruktur führen.

Diese Klimaveränderungen sollen im Folgenden mit ihren Auswirkungen auf Straße und Schiene behandelt werden. Generell führen diese Effekte zu einer tendenziell stärkeren Abnutzung der Infrastruktur, die sich durch verkürzte Lebensdauer, erhöhte Erhaltungskosten und erhöhte Ersatzinvestitionen ausdrücken können. Teilweise sind zusätzlich Sicherheitsaspekte tangiert. Es ist weiterhin hervorzuheben, dass Infrastrukturschäden sich auf den operativen Betrieb auswirken. Häufigere Verzögerungen im Verkehr haben nicht nur Kosten im Straßen- und Eisenbahnbereich zur Folge, sondern erstrecken sich aufgrund des Netzwerkcharakters auf andere Modi und auch andere Wirtschaftszweige. Klimafolgen können sich auf die Verfügbarkeit, Sicherheit, Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und den Reisekomfort auswirken.

Zunahme von Hitzetagen

Wesentliche Folgen von hohen Temperaturen sind Material- und Strukturschäden sowie Verformungen an Straßenbelägen (Spurrillen) und Schienen (Savonis et al. 2008; TRB 2008; Zebisch et al. 2005); laut TRB (2008: 108) treten Schäden am Asphalt (Aufweichung, Verflüssigung) ab Temperaturen von 32°C und an Schienen (Verformung) ab 43°C auf. Für Schienen werden schwankende Temperaturen oder einzelne heiße Tage im Frühjahr als belastender angesehen als dauerhaft hohe Temperaturen, zudem sind Streckenabschnitte mit Wechseln zwischen Sonne und Schatten sowie kurvige Streckenabschnitte einem erhöhten Risiko für Schienenverformungen ausgesetzt (TRB 2008: 4-19, Lindgren et al. 2009: 171). Auch an Brücken kann es zu thermischen Expansionen kommen (TRB 2008: 108). Materialschäden und Verformungen haben Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit: durch verformte Schienen kann es zu Zugentgleisungen kommen, Schäden im Straßenbelag erhöhen z. B. die Rutschgefahr bei Nässe (Savonis et al. 2008: 1-12).

Durch eine zunehmende Zahl von Hitzetagen steigt die Gefahr von Überhitzung und damit verbundenen Ausfallrisiken bei elektronischer Ausstattung wie z. B. Signalen (Lindgren 2008: 172), sowie von Überhitzung von Fahrzeugen, Bahnhöfen etc. (Savonis et al. 2008: 4.3). Jenseits der Risiken für die Infrastruktur ergeben sich daher auch Beeinträchtigungen des Reisekomforts und ein steigendes Risiko für hitzebedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen in Fahrzeugen. Generell steigt die Häufigkeit von Infrastrukturausfällen bei ungünstigen Wetterlagen (z. B. Duinmeijer & Bouwknecht 2004).

Steigende Temperaturen und Hitzewellen erhöhen weiterhin die Gefahr für Vegetations-, Böschungs- und Schwellenbrände entlang von Schienen und Straßen (Lindgren et al. 2009: 172; TRB 2008: 66).

Umgekehrt kann durch die Verringerung der Anzahl von Frosttagen zu verringerten Straßenbelagsschäden durch Schnee, Eis und Frost (TRB 2008: 109) sowie zu verringerten Eislasten auf Brücken führen, die eine Auslegung für weniger Belastung ermöglichen können (Savonis et al. 2008: 1-13).

Starkregenereignisse

Eine Zunahme von Starkregenereignissen kann zu einer Überlastung von Drainagesystemen führen und erhöht dadurch das Risiko von Überschwemmungen auf Straßen und Gleisen sowie in Tunneln (TRB 2008: 110). Die Stabilität von Bahndämmen und Gleisbett kann durch Erosion und Unterspülungen gefährdet werden; Starkregenereignisse können zudem die Verwitterung von Holzstreben beschleunigen (Savonis et al. 2008: 4-20). Eine durch Starkregen ausgelöste Zunahme der Bodenfeuchte kann die Stabilität von Brücken, Tunneln und Straßen beeinträchtigen und sich auf im Boden verlegte Leitungen auswirken (vgl. Kinsella & McGuire 2006; TRB 2008: 110). Hinzu kommt ein steigendes Risiko für Erdbeben; dies gilt besonders, wenn Starkregen in

ansonsten trockene Perioden fallen. Starkregenereignisse haben nicht nur Auswirkungen auf die Infrastruktur sondern führen auch akut zu Beeinträchtigungen der Fahrsicherheit und Pünktlichkeit auf Straßen und Schienen.

Stürme

Eine Zunahme an Starkwindereignissen und Stürmen kann Schäden an hochragenden Anlagen wie Oberleitungen, Signalen, Verkehrsschildern und Brücken auslösen und sich damit auf Verfügbarkeit und Sicherheit von Verkehrsträgern auswirken (Department for Transport 2005: 10). Zudem ergibt sich ein erhöhtes Risiko für umgestürzte Bäume sowie für Gegenstände, die auf Fahrbahn und Gleise geweht werden (Savonis et al. 2008: 4-7). Zunehmende Gewitteraktivität und Blitzschlag kann zu Ausfällen der Elektrizitätsversorgung und damit zu Ausfällen oder Schäden an Signalen und elektronischer Infrastruktur führen (Savonis et al. 2008: 1-14).

Küstennahe Verkehrsinfrastruktur

Eine besondere regionale Betroffenheit besteht für Straßen und Schienen in Küstennähe. Hier können Schäden durch Überschwemmungen bei Sturmfluten und starke seeseitigen Windböen auftreten. Auf längere Sicht kann der Meeresspiegelanstieg die Sicherheit von Trassen beeinträchtigen oder gar eine Verlegung notwendig machen. (TRB 2008: 68).

Veränderungen der Vegetation

Eine Verlängerung der Vegetationsperiode von Laubbäumen kann zu vermehrtem Wachstum und mehr Laubfall führen; dies hat Auswirkungen auf Gleitfilme auf Gleisen und Straßen und trägt dadurch zu längeren Bremswegen bei; zudem kann erhöhtes Laubwachstum die Sicht beeinträchtigen und so das Unfallrisiko erhöhen (RSSB 2004: 32; Savonis et al. 2008: 1-12; Department for Transport 2005: 12).

3 Maßnahmen zur Anpassung der Straßen- und Schieneninfrastruktur an den Klimawandel

Die meisten Studien zur Anpassung legen den Fokus auf die Vulnerabilität, während potenzielle Anpassungsmaßnahmen und insbesondere die Frage, durch welche Akteure sie ergriffen werden sollen, weniger umfangreich adressiert werden (Reckien et al. 2008). Zebisch et al. (2005: 150) halten den Verkehrssektor generell für anpassungsfähig, da eine Vielzahl wirksamer Anpassungsoptionen wie z. B. technische Lösungen zur Verfügung stehen. Um diese auszuschöpfen, halten sie allerdings eine erheblich größere Sensibilisierung des Sektors für notwendig; zudem kann bislang kaum auf vorhandenem Wissen und Erfahrungen aufgebaut werden (Zebisch et al. 2005: 150).

Übergreifend über verschiedene Klimafolgen und Auswirkungen wird in den angeführten Studien ein Bedarf für verbesserte regionale Daten und Klimaszenarien sowie Forschung zu Materialien gesehen, hinzu kommt die Forderung nach längerfristigen Planungshorizonten und Folgenabschätzungen, die die lange Lebensdauer von Verkehrsinfrastruktur in den Blick nehmen, sowie nach angepassten Baustandards und verbesserten Überwachungs- und Monitoringmethoden (Lemmen & Warren 2004; RSSB 2004; Hoo & Sumitani 2005; Zebisch et al. 2005; COM 2007; Savonis et al. 2008; TRB 2008). Im Folgenden werden zu den zuvor identifizierten Auswirkungen des Klimawandels potenzielle Anpassungsmaßnahmen skizziert. Sie lassen sich in technische, organisatorische sowie planerische Anpassungsmaßnahmen unterteilen.

Hohe Temperaturen

Als technische Maßnahmen werden die Entwicklung neuer hitzebeständiger Materialien für Straßenbeläge, die Verwendung hitzebeständigerer Asphaltmischungen und endlos verschweißter Schienen sowie eine verbesserte Kühlung von Signalen und elektronischer Infrastruktur vorgeschlagen (Savonis et al. 2008: 1-12, TRB 2008: 108, Department for Transport 2005: 12). Ergänzend werden Maßnahmen empfohlen, die den Planungs- und Instandhaltungsprozess betreffen; hierzu zählen kürzere Wartungs- und Instandhaltungsintervalle, das Ausfräsen von Spurrillen sowie eine angepasste Straßenführung und Landschaftsgestaltung (Savonis et al. 2008: 1-12, TRB 2008: 108). Um Schäden und Verformungen an Schienen zu identifizieren, sind zudem verbesserte Methoden zur Identifikation dieser Schäden sowie ein intensiveres Monitoring der Schienentemperaturen erforderlich (Savonis 2008: 1-12, 4-20).

Diese Veränderungen in Planung und Instandhaltung können mit erhöhten Instandhaltungs- und Baukosten verbunden sein, wobei auch über sinkende Instandhaltungskosten bei höheren Investitionskosten durch die Verwendung von Asphalt mit einem höheren Anteil an Polymeren berichtet wird (Savonis et al. 2008: 4-10). Für den Zugverkehr empfehlen Peterson et al. (2008) geringere Geschwindigkeiten und kürzere Züge, um Bremswege zu verkürzen, und geringere Beladung, um die Belastung der Schienen zu verringern.

Starkregenereignisse

Als Anpassungsmaßnahmen an Starkregenereignisse werden vor allem veränderte Planungen und Dimensionierungen empfohlen, dies betrifft die Dimensionierung von Drainage- und Pumpanlagen (für Tunnel) und kann auch die Dimensionierung von Brücken und Abzugskanälen sowie die Veränderung von Sturm- und Wassermanagement-Einrichtungen an Straßen, Brücken und Abzugskanälen sowie Schienen umfassen (Hoo et al. 2005: 23; Savonis et al. 2008: 4-3; TRB 2008: 111). Hinzu kommen organisatorische Maßnahmen wie das Monitoring der Infrastruktur und potenzieller Schäden, die Vorbereitung auf den Umgang mit Verspätungen und Ausfällen sowie der Ersatz von zu stark geschädigten Straßenbelägen (Warren et al. 2004). An Streckenteilen, die durch Erd- oder Hangrutsche gefährdet sind, wird zudem die Errichtung von Hangbefestigungen empfohlen (TRB 2008: 111).

Stürme

Auch hier beziehen sich die empfohlenen Anpassungsmaßnahmen vor allem auf veränderte Planungs- und Baustandards; so werden beispielsweise Veränderungen im Design von Bücken empfohlen, um die Verbindung zwischen Fahrbahn und Fundamentkonstruktion zu verbessern und die Fundamente zu stärken, zudem besteht ein Bedarf für (Bau-) Materialien mit größerer Stabilität (TRB: 112, 118). Weitere Möglichkeiten bieten Schutzwälder oder Schutzwälle an Straßen und Schienentrassen.

Küstennahe Verkehrsinfrastruktur

In Bezug auf küstennahe Infrastruktur richten sich die empfohlenen Anpassungsmaßnahmen vor allem darauf, neue Straßen und Schienen in weniger vulnerablen Gebieten zu planen, Trassenverlagerungen zu erwägen, Notfall- und Evakuierungspläne zu erarbeiten, Ausweichrouten vorzusehen sowie Straßen und Schienen besser zu schützen (Hochwasserschutz, Deiche, höher gelegene Trassen) (Savonis 2008: 1-14; TRB 2008: 118).

Veränderungen der Vegetation

In Bezug auf Pflanzenwachstum und Risiken durch Laub- und Baumfall empfiehlt Wooler (2004) ein besseres Management zur Laubbeseitigung sowie das Pflanzen von pflegeärmerer Vegetation entlang von Verkehrsstrecken. Empfohlen werden zudem das häufigere Zurückschneiden sowie der Einsatz anderer Baumarten (RSSB 2004: 32). In Schweden wurden beispielsweise baumfreie Zonen entlang von zentralen Bahnstrecken eingeführt (Lindgren et al. 2009: 173). Größere Schneisen ohne Bepflanzung entlang von Straßen und Schienen verringern die Gefahr von Schäden und Beeinträchtigungen durch Baumfall; allerdings besteht hier ein Zielkonflikt mit der Überhitzung von Straßen, Schienen und Fahrzeugen, die durch vegetationsbedingte Verschattung verringert werden können. Für stärkere Vegetationskontrolle und Rückschnitt sind zudem die rechtlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen; da viele Bäume auf Privatgrund stehen, sind hier Regelungen notwendig.

4 Schlussfolgerungen

Verkehrsinfrastruktur zählt zu den kritischen Infrastrukturen, deren Beeinträchtigung zu erheblichen Folgeschäden für Gesellschaft und Wirtschaft führen kann. Die in Klimaszenarien für Deutschland prognostizierten Klimaveränderungen sind mit Risiken für die Verkehrsinfrastruktur verbunden. Hierzu zählen insbesondere Beeinträchtigungen durch steigende Temperaturen, Starkregenereignisse und Stürme. Während beispielsweise in den USA einige detaillierte Studien zum Thema Vulnerabilität und Anpassung des Verkehrssektors bestehen, steht dies für Deutschland bislang aus. Generell fokussieren Studien – auch internationale – eher auf die Betroffenheit als auf mögliche Anpassungsmaßnahmen, zudem bleibt die Frage der Verantwortungsteilung zwischen verschiedenen Akteuren weitgehend unbeantwortet. Da sich Verkehrsinfrastruktur sowohl in privater als auch öffentlicher Hand befindet und die öffentliche Hand zudem durch Vorgaben zu Bau- und anderen Normen und Standards Vorgaben machen kann, stellt sich die Frage, wie hier eine sinnvolle Verantwortungs- und Arbeitsteilung erreicht werden kann. Diese offenen Fragen sollen im Rahmen des Stakeholderworkshops vertieft werden.

5 Literatur

- BMI, Bundesministerium des Innern (2005): *Schutz Kritischer Infrastrukturen - Basisschutzkonzept. Empfehlungen für Unternehmen*.
http://www.bbk.bund.de/cIn_007/nn_402322/SharedDocs/Publikationen/Publikationen_20Kritis/Basisschutzkonzept_Kritis,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Basisschutzkonzept_Kritis.pdf, Zugriffsdatum: 28.09.2009.
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & KomPass, Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung im Umweltbundesamt (2008): *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Erwartungen, Ziele und Handlungsoptionen - Hintergrundpapier zur Fachkonferenz, 15./16.04.2008*.
http://www.wasklim.de/download/Hintergrundpapier_BMU.pdf, Zugriffsdatum: 30.09.2009.
- BMVBS, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, (2007): *Schifffahrt und Wasserstraßen in Deutschland - Zukunft gestalten im Zeichen des Klimawandels. Bestandsaufnahme*. Bonn. http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1031087/Schifffahrt-und-Wasserstrassen-in-Deutschland-Zukunft-gestalten-im-Zeichen-des-Klimawandels.pdf, Zugriffsdatum: 05.10.2009.
- COM, Commission of the European Communities (2007): *Green Paper from the Commission to the Council the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Adapting to climate change in Europe - options for EU action*. Brussels, COM(2007) 354 final.
http://www.ccre.org/docs/climate_change_cemr_response.pdf.
- COM, Commission of the European Communities (2009): *White Paper: Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action*. Brussels, COM(2009) 147 final.
<http://ec.europa.eu>, Zugriffsdatum: 01.04.09.
- Department for Transport (2005): *The changing climate: its impact on the Department for Transport*.
<http://www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/key/thechangingclimateitsimpactto1909>, Zugriffsdatum: 30.09.2009.
- Deutsche Bank Research (2007): *Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß!*, Aktuelle Themen 388, 4. Juni 2007. http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD000000000211107.pdf, Zugriffsdatum: 28.09.2009.
- Deutscher Wetterdienst (2009): *Klimawandel im Detail - Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland*, Zahlen und Fakten zur DWD-Pressekonferenz am 28. April 2009 in Berlin.
http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK_28_04_09/ZundF_PK_20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF_PK_20090428.pdf, Zugriffsdatum: 30.09.2009.
- Die Bundesregierung (2008): *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen*. <http://www.bmu.de>, Zugriffsdatum: 29.04.09.
- DStGB, Deutscher Städte- und Gemeindebund (2006): *Sichere Städte und Gemeinden. Unterstützungs- und Dienstleistungsangebote des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe für Kommunen*. Bonn, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 05/2006.
- Duinmeijer, A.G.P. & Bouwknegt, R. (2004): *Betrouwbaarheid Railinfrastructuur 2003 (Reliability Rail Infrastructure 2003)*. Utrecht, Prorail.
- Firth, J. & Colley, M. (2006): *The Adaptation Tipping Point: Are UK Businesses Climate Proof?* Oxford, Acclimatise and UKCIP.
https://www.cdproject.net/CDPResults/CDP4_FTSE350_Adaptation_Report.pdf, Zugriffsdatum: 29.10.2009.

- Hoo, Wendy K. Soo & Sumitani, Megumi (2005): *Climate Change Will Impact the Seattle Department of Transportation*. Seattle, Office of City Auditor.
- Jacob, Daniela; Göttel, Holger; Kotlarski, Sven; Lorenz, Philip & Sieck, Kevin (2008): *Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland*. Dessau, Umweltbundesamt, Climate Change 11/08.
- Kinsella, Y. & McGuire, F. (2006): *Climate change uncertainty and the state highway net-work: a moving target*, Transit New Zealand.
- KomPass, Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung im Umweltbundesamt (2007): *Dritter Nationaler Workshop „Klimawandel in Deutschland: Strategien der Anpassung“*. 6. und 7. November 2007, UBA Dessau-Roßlau - Zusammenfassung.
http://www.anpassung.net/DE/Anpassungsstrategie/Veranstaltungen/Stakeholder-WS/071106-07_nationaler_WS_03/Download/Zusammenfassung_final,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Zusammenfassung_final.pdf, Zugriffsdatum: 30.09.2009.
- KPMG International (2008): *Climate Changes Your Business. KPMG's Review of the Business Risks and Economic Impacts at Sector Level*.
http://www.kpmg.com/SiteCollectionDocuments/Climatechang_riskreport.pdf.
- Lemmen, Donald S. & Warren, Fiona J. (2004): *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective*. Ottawa, Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada.
- Lenz, Barbara & Vallee, Dirk (2008): *Thesenpapier für das DAS Symposium, Betrachtungsfeld: Verkehr und Kommunikation, Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) - Nationales Symposium zur Identifizierung des Forschungsbedarfs*, Leipzig, 27.-28.8.2008. <http://www.ufz.de/das/index.php?de=16998>, Zugriffsdatum: 28.09.2009.
- Lindgren, Johan; Jonsson, Daniel K. & Carlsson-Kanyama, Annika (2009): *Climate Adaptation of Railways: Lessons from Sweden*. *EJTIR*. 9 (2), S. 164-181.
- Niehoff, Daniela (2007): *Schutz Kritischer Infrastrukturen*. Vortrag beim 3. Nationalen Workshop. Klimawandel in Deutschland: Strategien der Anpassung, Dessau.
- Ott, Hermann E. & Richter, Caspar (2008): *Anpassung an den Klimawandel - Risiken und Chancen für deutsche Unternehmen*. Berlin, Wuppertal, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal Papers Nr. 171.
- Peterson, T.; McGuirk, M.; Houston, T.; Horvitz, A. & Wehner, M. (2008): *Climate Variability and Change with Implications for Transportation*. In: The National Research Council; National Academy of Science; Transportation Research Board & Department of Earth and Life Sciences (Hrsg., 2008): *The Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation*. Washington, D.C.
- Reckien, Diana; Eisenack, Klaus & Hoffmann, Esther (2008): *Adaptation to climate change in the transport sector: the constraining effect of actor-interdependencies*. Conference "Applying Ecological Economics for Social and Environmental Sustainability" ISEE (International Society for Ecological Economics), Nairobi.
- RSSB, Rail Safety and Standards Board (2004): *Safety Implications of Weather, Climate and Climate Change: Final Report*, AEAT/RAIR/76148/RO3/005 Issue 2.
<http://www.rssb.co.uk/pdf/reports/research/Safety%20implications%20of%20weather,%20climate%20and%20climate%20change.pdf>, Zugriffsdatum: 28.09.2009.
- Savonis, Michael J.; Burkett, Virginia R. & Potter, Joanne R. (2008): *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase 1*, Synthesis and Assessment Product 4.7.
- Spekat, Arne; Enke, Wolfgang & Kreienkamp, Frank (2007): *Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG*

auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Dessau, Umweltbundesamt, Endbericht.

TRB, Transportation Research Board (2008): *Potential Impacts of Climate Change on U.S. Transportation.* Washington, National Research Council of the National Academies, Special Report 290.

UFZ, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (2008): *Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel. Bericht zum Nationalen Symposium zur Identifizierung des Forschungsbedarfs.* Leipzig, 27./ 28. August 2008.

http://www.ufz.de/data/Bericht_DAS_Symposium_1510099436.pdf, Zugriffsdatum: 28.09.2009.

Warren, F.; Barrow, E.; Schawartz, R.; Andrey, J.; Mills, B. & Riedel, D. (2004): Climate Change Impacts and Adaptation. In: Lemmen, Donald S. & Warren, Fiona J. (Hrsg., 2004): *Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective.* Ottawa: Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada.

Wooler, Sarah (2004): *The Changing Climate: Impact on the Department for Transport.* London, United Kingdom, Department for Transport.

Zebisch, Marc; Grothmann, Torsten; Schröter, Dagmar; Haße, Clemens; Fritsch, Uta & Cramer, Wolfgang (2005): *Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme.* Potsdam, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamt, 08/05.

Kontakt Autor/innen

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Esther Hoffmann, Maja Rotter

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

fon +49 (0)30-884594-0

fax +49 (0)30-8825439

esther.hoffmann@ioew.de

Fachhochschule Eberswalde

Prof. Dr. Martin Welp

Fachbereich Wald und Umwelt

Alfred-Moeller-Str. 1

16225 Eberswalde

fon +49 (0)3334-65483

fax +49 (0)3334-65428

martin.welp@fh-eberswalde.de