



# Dialoge zur Klimaanpassung

## Logistik und Supply Chain

### Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zur Klimaanpassung - Logistik und Supply Chain -

**Autoren:** Nils Marscheider, Laura Schäfer, Maja Rotter  
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

**Stand:** 6. März 2013

#### Inhalt

1. Einleitung.....	2
2. Klimawandel und Klimaanpassung.....	3
2.1 Veränderte klimatische Rahmenbedingungen in Deutschland.....	3
2.2 Politische Anpassungsaktivitäten .....	4
3. Herausforderungen des Klimawandels für Logistik und Supply Chain .....	5
3.1 Auswirkungen des Klimawandels für die Transportinfrastruktur.....	7
3.2 Auswirkungen des Klimawandels auf weitere Elemente betrieblicher Wertschöpfungsketten .....	9
4. Optionen für die robuste Gestaltung von Logistik und Supply Chain im Klimawandel .....	11
4.1. Logistikunternehmen - Paneuropa-Rösch GmbH.....	11
4.2. Robuste Gestaltung von Lieferketten: Unternehmen am Rhein.....	12
5. Schlussfolgerung und Diskussionsfragen.....	13
6. Literatur .....	14



## 1. Einleitung

Die Zunahme von extremen Wetterereignissen sowie die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) haben den Klimawandel in das Zentrum politischer, gesellschaftlicher und ökonomischer Diskussionen<sup>1</sup> gerückt. Der Schutz des Klimas stand dabei bislang im Mittelpunkt. Doch auch wenn nationale und internationale Klimaschutzanstrengungen erfolgreich sind, können Veränderungen des Klimas nicht mehr vollständig verhindert, sondern nur gemindert werden (Field et al. 2012). Neben dem Klimaschutz wird die Anpassung an nicht vermeidbare Auswirkungen des Klimawandels daher immer wichtiger. Anpassung sollte dabei nicht als Rückzug aus der Verantwortung für den anthropogenen Klimawandel, sondern als Versuch zur Minderung der Verwundbarkeit von Gesellschaft und Wirtschaft gegenüber unvermeidbaren Klimafolgen verstanden werden.

Für die Wirtschaft bedeutet der Klimawandel die Veränderung wichtiger Rahmenbedingungen für eine große Zahl von Prozessen und Zusammenhängen. Vor allem Akteure, die solche klimasensiblen Bereiche managen, sollten sich frühzeitig und proaktiv mit Optionen für die robuste Gestaltung der Abläufe in den jeweiligen Arbeitsfeldern auseinandersetzen (Mahammadzadeh et al. 2013; IHK für München und Oberbayern 2009).

Für Logistik und Supply Chain entstehen die wesentlichen Herausforderungen des Klimawandels durch zukünftig veränderte Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von Transportinfrastruktur, welche zu Verzögerungen und Ausfällen in Logistikprozessen führen kann. Die heutige Struktur der ökonomischen Wertschöpfung ist in hohem Maße von funktionierenden Transport- und Logistikleistungen abhängig. Ausfälle oder Verzögerungen in der Verkehrsinfrastruktur und Logistikdienstleistungen wirken sich auf nachgelagerte Wertschöpfungsprozesse aus, wenn Rohstoffe, Kraftstoffe oder Halbfabrikate nicht termin- und plangemäß zur Verfügung stehen. Extremwetterereignisse, wie etwa das Sturmtief Kyrill 2007 oder der Hitzesommer 2003 lassen heute bereits eine Einschätzung möglicher Klimawandelfolgen zu, die zukünftig mit größerer Häufigkeit und Intensität erwartet werden.

So zeigt eine Untersuchung von Scholten und Rothstein (2012) im Rahmen des KLIWAS-Projektes<sup>2</sup> beispielsweise, dass die befragten Unternehmen Transportschwierigkeiten im Bereich des Massenguttransportes als Folge von Extremwetterereignissen (Stürme, Hitzewellen, niedrige Wasserstände) bewältigen mussten. Auf dem Rhein etwa konnte während des Niedrigwassers nur ein Drittel der üblichen Fracht geladen werden, auf der Elbe musste der Schiffsverkehr zeitweise vollständig eingestellt werden (BBK 2009). Durch die Verlagerung der Fracht auf Straße und Schiene kam es zu Überbelastungen und Kapazitätsengpässen (BBK 2009). Dazu trugen auch hitzebedingte Schäden an Straßen und Schienen bei, die zu weiteren Verzögerungen im Güterverkehr und Problemen - insbesondere in der Just-in-time Lieferung - führten (BBK 2009).

---

<sup>1</sup> Der Report „The Economics of Climate Change“ von Nicholas Stern (2007) hat die Diskussion um die möglichen ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels stark befördert.

<sup>2</sup> „KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt - Entwicklung von Anpassungsoptionen“ ist ein Ressortforschungsprogramm des BMVBS (2009-2013)

Dieses Arbeitspapier stellt erwartete Chancen und Risiken des Klimawandels für Logistik und Supply Chain vor und beschreibt erste Ansätze für einen effizienten Umgang mit Klimafolgen in diesen Wirtschaftsbereichen.

Zunächst werden erwartete Veränderungen der klimatischen Rahmenbedingungen skizziert und politische Anpassungsprozesse und -strategien vorgestellt. Anpassungserfordernisse für Logistik und Supply Chain, die aufgrund dieser Klimaveränderungen entstehen können, werden daran anschließend beschrieben. Bereits bekannte Strategien und Maßnahmen für den Umgang mit Klimafolgen werden vorgestellt. Anhand des Logistikunternehmens Paneuropa-Rösch GmbH, sowie für die von Klimafolgen betroffenen Unternehmen am Rhein, werden Perspektiven und Vorgehen für die Anpassung der Betriebsabläufe dargestellt. Das Arbeitspapier bietet eine Informationsgrundlage für die inhaltliche Vorbereitung auf den Stakeholderdialog. Fragestellungen und Zielrichtung des Workshops werden im abschließenden Teil benannt.

## **2. Klimawandel und Klimaanpassung**

Anhand der Beobachtung des Anstiegs der mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen stellte das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007 eine eindeutige Erwärmung des Klimasystems fest (IPCC 2007). Aufgrund der Trägheit des Klimasystems sind die heute beobachteten Erwärmungen vorrangig auf Emissionen der letzten zwei Jahrhunderte zurückzuführen (Schuchardt et al. 2008). Die weiteren Auswirkungen der weltweiten Emissionen, die zwischen 1970 und 2004 um 70% gestiegen sind, werden sich vor allem in den kommenden Jahren bemerkbar machen (IPCC 2007; Schuchardt et al. 2008). Laut IPCC wird die globale Durchschnittstemperatur in diesem Jahrhundert je nach Emissionsszenario um 2,0 - 4,5°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau steigen (IPCC 2007).

Als zentrale klimapolitische Zielsetzung wollen die 194 Mitgliedstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 2°C über dem vorindustriellen Niveau beschränken, um die gravierenden Folgen einer noch stärkeren Erwärmung zu vermeiden. Doch auch wenn diese Zielsetzung erreicht wird, ist mit unumkehrbaren Auswirkungen des Klimawandels zu rechnen (Geden 2012). Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich die Temperaturanstiege und auch die Folgen des Wandels global nicht einheitlich entwickeln werden. Sowohl innerhalb Europas als auch innerhalb Deutschlands werden deutliche regionale Unterschiede in den Auswirkungen des Klimawandels erwartet.

### **2.1 Veränderte klimatische Rahmenbedingungen in Deutschland**

Um die Ausprägungen globaler Klimaänderungen in bestimmten Regionen zu untersuchen, werden Regionalisierungsmodelle genutzt (in Deutschland REMO, CLM, WETTREG und STAR), mit denen globale Klimaprojektionen auf die regionale Ebene herunterskaliert werden. Dabei wird zwischen dynamischen und statistischen Modellen unterschieden. Dynamische Modelle wie REMO und CLM brechen die globalen Klimaprojektionen anhand physikalisch-numerischer Verfahren auf ein räumlich differenzierteres Gitter von etwa 10 x 10 km horizontaler Auflösung herunter (Jacob et al. 2008). Statistische Verfahren wie WETTREG und STAR projizieren dagegen meteorologische Zeitreihen ausgewählter Wetterstationen in Deutschland in die Zukunft (Spekat et al. 2007).

Die Spannweiten hängen dabei nicht nur von regionalen Unterschieden, sondern auch von unterschiedlichen Emissionsszenarien ab. Allen Modellen und Szenarien zufolge wird die Jahresmitteltemperatur zukünftig ansteigen. Laut beobachteten Daten liegen neun der zehn wärmsten Jahre seit 1901 im Zeitraum der letzten 25 Jahre (DWD 2009). Die Szenarien bis 2050 schwanken zwischen 0,6 und 1,4°C, bis 2100 um 2,1°C bis 5,5°C deutschlandweit. Tendenziell steigen die Temperaturen im Süden Deutschlands vergleichsweise stark an (Helmholtz Gemeinschaft 2013). Simulationen der regionalen Modelle REMO und CCLM ergeben für das Szenario A1B, dass es zu einer Zunahme von Starkniederschlägen kommen wird (Helmholtz Gemeinschaft 2013). Ausschließlich im Nordosten der Bundesrepublik könnte möglicherweise eine Abnahme verzeichnet werden. In Mitteleuropa können starke Winterstürme und Zykone zunehmen. Diese Projektionen sind jedoch mit deutlich mehr Unsicherheiten verbunden, als die Temperaturvorhersagen (Field et al. 2012). Heiße Tage mit Temperaturen über 30°C nehmen wahrscheinlich zu. Die Spannweite variiert zwischen einer Zunahme von 7 und 36 Tagen bis 2100 (Helmholtz Gemeinschaft 2013).

Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge 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. Es wird erwartet, dass Sommerniederschläge insgesamt um 13 bis 46% abnehmen werden. Im Besonderen wird dies im Südwesten Deutschlands zu beobachten sein. Winterniederschläge werden um 8 bis 33% zunehmen. (Helmholtz-Zentrum Geesthacht 2011; Deutscher Wetterdienst 2012)

## **2.2 Politische Anpassungsaktivitäten**

Um den Anpassungserfordernissen zu begegnen, müssen gesellschaftliche und ökonomische Anpassungsprozesse in Gang gesetzt werden. Die dafür notwendigen politischen Strategien der Anpassung an den Klimawandel werden inzwischen sowohl auf europäischer als auch auf nationaler und regionaler Ebene initiiert und gestaltet.

Auf *europäischer Ebene* wurde im Jahr 2007 durch das Grünbuch „Anpassung an den Klimawandel - Optionen für Maßnahmen der EU“ (COM 2007) der Europäischen Kommission ein gesellschaftlicher und politischer Diskurs zum Thema angestoßen. Die daran anschließenden Konsultationen mündeten zwei Jahre später in der Verabschiedung eines Weißbuchs zur Anpassung an den Klimawandel (COM 2009). Das Weißbuch beschreibt zwei Phasen, in denen eine europäische Anpassungsstrategie konkretisiert, sowie eine Rahmenregelung zur Minderung der Anfälligkeit der EU gegenüber Auswirkungen des Klimawandels umgesetzt werden sollen. In der ersten Phase (2009 bis 2012) wurden die Grundlagen der Strategie erarbeitet, die Ende April 2013 veröffentlicht werden. In der sich anschließenden zweiten Phase soll die EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel umgesetzt werden.

Auf *nationaler Ebene* wurde 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) durch die Bundesregierung beschlossen. Sie dient als Rahmen für einen mittelfristigen Prozess, der Bewusstsein schaffen, Betroffenheiten durch den Klimawandel analysieren, Gefahren und Risiken benennen und bewerten, sowie Handlungserfordernisse und Maßnahmen aufzeigen soll. Für die Umsetzung der DAS sind zunächst drei Elemente vorgesehen: Erstens die Ausarbeitung eines Aktionsplans für die Weiterentwicklung der DAS einschließlich eines Indikatorensets und einer bundesweiten sektorübergreifenden Vulnerabilitätsbewertung, zweitens ein Dialog- und Beteiligungsprozess zwischen staatlichen und nichtstaatlichen Akteuren und drittens der Ausbau der Wissensbasis und die Wissensvermittlung an Verwaltung, Unternehmen sowie Bürgerinnen

und Bürger<sup>3</sup>. Durch den Dialog- und Beteiligungsprozess mit gesellschaftlichen Akteuren wird die Kommunikation und Kooperation mit und zwischen den betroffenen Gruppen in Hinblick auf Erfordernisse zur Klimawandelanpassung gefördert. Die Ergebnisse des Dialogprozesses stellen einen wichtigen Beitrag zur weiteren Konkretisierung von Regelungen und Maßnahmen dar. In Zusammenarbeit mit den Bundesländern und relevanten gesellschaftlichen Akteuren entstand der Aktionsplan Anpassung, der Aktivitäten des Bundes präzisiert und Ende August 2011 vom Bundeskabinett beschlossen wurde. Sowohl die DAS als auch der Aktionsplan Anpassung werden fortgeschrieben. Zur Umsetzung wurden u.a. Förder- und Unterstützungsmöglichkeiten für verschiedene Akteure geschaffen. Anpassungskonzepte von kleinen und mittleren Unternehmen etwa können mit bis zu 100.000 Euro über einen Zeitraum von 2 Jahren gefördert werden<sup>4</sup>.

Auch auf *Ebene der Bundesländer* wird die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels thematisiert. Einige Bundesländer haben bereits Anpassungsstrategien mit konkreten Handlungsfeldern formuliert (z.B. Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt) oder integrierte Klimaschutz- und Anpassungsstrategien wie -pläne erarbeitet (z.B. Hamburg, Thüringen, Bayern).

### 3. Herausforderungen des Klimawandels für Logistik und Supply Chain

Im Folgenden wird Logistik als „ganzheitliche Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle aller unternehmensinternen und übergreifenden Güter- und Informationsflüsse (...)“ (Baumgarten et al. 2004: 2) verstanden. Die Logistik arbeitet mit der Zielsetzung „einer wirtschaftlichen und termingerechten Produktion, Bereitstellung und Lieferung kundenspezifischer Waren, Materialien, Produkte und Dienstleistungen“ (Nagel 2011).

Wichtige Qualitätskriterien im Logistiksektor sind Lieferzeit, Liefertreue, Lieferqualität und Lieferflexibilität (hinsichtlich Art der Auftragserteilung und Liefermodalitäten). Um hohe Qualität bezüglich dieser Kriterien zu erreichen, benötigen Logistikdienstleister eine effiziente Transportinfrastruktur, zuverlässige Fahrzeuge und Transportbehälter sowie optimal nutzbare Anlagen und Gebäude für die Lagerhaltung. Diese hohe Qualität unter veränderten Umwelt- und Rahmenbedingungen zu erhalten, ist die Herausforderung, die sich für Logistik und Supply Chain durch den Klimawandel stellt.

Die Logistikbranche hat eine zentrale volkswirtschaftliche Bedeutung. Mit mehr als 2,8 Millionen Beschäftigten 2011 stellt der Sektor einen der größten Arbeitsmärkte in Deutschland dar (SCS 2012). Pro Jahr werden in Deutschland bis zu vier Milliarden Tonnen Güter transportiert. Mit einem Umsatz von 189 Mrd. Euro ist Deutschland der wichtigste europäische Logistikmarkt (ebd.). Dies hängt vor allem mit den Standortvorteilen in Deutschland zusammen, worunter Ehmer et al. (2008) den hohen Industrialisierungsgrad, die wirtschaftliche Offenheit, die zentrale Lage sowie gute Verkehrsinfrastruktur zählen.

Rund 35% der Logistikkosten eines Handelsunternehmens entfällt auf den Warentransport (Bovensiepen et al. 2008). Der Logistiksektor ist daher wesentlich von einer guten Verkehrsinfrastruktur abhängig. Die Straße war 2010 EU-weit mit 45,9% der meistgenutzte

---

<sup>3</sup> Siehe [www.anpassung.net](http://www.anpassung.net).

<sup>4</sup> Für weitere Informationen siehe: [www.bmu.de/foerderprogramme/anpassung\\_an\\_die\\_folgen\\_des\\_klimawandels](http://www.bmu.de/foerderprogramme/anpassung_an_die_folgen_des_klimawandels).

Verkehrsträger; 10,2% der Güter wurden über die Schiene transportiert, 40,7% der Güter gelangen über Binnenwasserstraßen und EU-weiten Seeverkehr an ihr Ziel und 0,1% über den Luftweg (Europäische Kommission 2012: 3).

Ott & Richter (2008) beschreiben den Verkehrssektor im Branchenvergleich als eine klimasensible Branche. Ebenso hebt eine Studie der DB Research (Heymann 2007) die besondere Bedeutung des Klimawandels für den Verkehrssektor hervor, da er sowohl durch die direkten Auswirkungen des Klimawandels als auch durch die politische Regulierung zum Klimaschutz betroffen sein kann. Eine Untersuchung von KPMG International (2008) stellt darüber hinaus fest, dass bisher nur geringe Aktivitäten zur Vorbereitung auf mögliche Risiken des Klimawandels in diesem Sektor durchgeführt werden. Dabei können vor allem Extremwetterereignisse (Stürme, Hagel, Starkregen) zu Schäden an der verkehrsrelevanten Infrastruktur führen (Eisenack et al. 2012). Dies wirkt sich negativ auf die Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Pünktlichkeit im gesamten Verkehrs- und Transportsektor aus (Mahammadzadeh et al. 2013).

Neben der funktionierenden Transportinfrastruktur basiert die Wertschöpfung der Logistikdienstleister auf zuverlässigen Fahrzeugen und Transportbehältern, sowie auf den Anlagen und Gebäuden zum Umschlag und zur Lagerung von Waren. Laut Osthorst et al. (2011) werden für diese Elemente der betrieblichen Wertschöpfungskette geringere Auswirkungen durch veränderte Klimabedingungen erwartet als für die Transportinfrastruktur. Im Bereich der betrieblichen Wertschöpfungsketten tragen eine gute Vernetzung der betroffenen Akteure, Erfahrungsaustausch und die dadurch gestärkte Innovationsfähigkeit im Produkt- und Dienstleistungssektor zu einer guten Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingungen durch den Klimawandel bei (Osthorst et al. 2011).

Konkrete Beispiele für die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels für die verschiedenen Verkehrsträger sowie für Fahrzeuge, Transportbehälter (z. B. Container) und Anlagen werden in den Abschnitten 3.1. und 3.2. beschrieben. Festzuhalten ist aber bereits an dieser Stelle, dass logistische Prozesse und Methoden, die die genannten Infrastrukturen und Transportmittel für den reibungslosen Ablauf von Warentransport und anderen Logistikdienstleistungen verknüpfen sollen, auf Veränderungen der bisherigen Rahmenbedingungen durch den Klimawandel abgestimmt werden müssen. Der pünktliche Transport der Waren ist zudem für jedes produzierende Unternehmen elementar, da Verzögerungen oder Ausfälle schnell Einfluss auf den Produktionsprozess haben können. In einer Unternehmensbefragung von Günther & Stechemesser (2011) sehen vor allem Unternehmen aus den Branchen Medizin-, Steuer-, Mess- und Regeltechnik, Optik, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren sowie Automobilhersteller und ihre Zulieferer klimawandelbedingte Anpassungsaufgaben für ihre Logistikprozesse. Nur wenige Branchen wie die der Tabak- und Mineralölverarbeitung sehen ihre Unternehmensprozesse nicht beeinflusst. Zu einer gegenteiligen Einschätzung kommen einige Unternehmen aus der chemischen Industrie und der Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung: Hier werden positive Auswirkungen auf die Logistik vor allem durch rechtzeitige Anpassung der Prozesse erwartet (Günther & Stechemesser 2011).

Unternehmerische Anpassung erfordert Informationen über die Spanne der zu erwarteten Klimaauswirkungen. Auf diese Weise können die Unternehmensbereiche identifiziert und eingegrenzt werden, die im Rahmen des Managements von Klimarisiken besonders im Fokus stehen. Die Veränderungen des Klimawandels beeinflussen generell die eingangs genannten Kriterien Lieferzeit, Lieferzuverlässigkeit, Lieferqualität und Lieferflexibilität. Die verschiedenen Abschnitte der Supply Chain können jedoch sehr unterschiedlich vulnerabel gegenüber den

Auswirkungen des Klimawandels sein. Im folgenden Abschnitt werden daher mögliche Auswirkungen des Klimawandels differenziert nach den verschiedenen Verkehrswegen der Transportinfrastruktur beschrieben. Auswirkungen auf weitere Elemente der betrieblichen Wertschöpfungskette werden in Abschnitt 3.2. benannt.

### **3.1 Auswirkungen des Klimawandels für die Transportinfrastruktur**

#### **Straße**

Starkregenereignisse und dadurch entstehende Überschwemmungen können Straßen kurzfristig einerseits blockieren und andererseits dauerhafte Schäden an der Verkehrsinfrastruktur verursachen. Überlastungen von Drainagesystemen gehen einer Straßenüberschwemmung häufig voraus (Hoffmann, Gebauer, et al. 2011). Abhängig von der regionalen Topographie können Starkregenereignisse Hangrutschungen nach sich ziehen, die häufig gravierende Schäden und Einschränkungen in der Nutzbarkeit der Verkehrsinfrastruktur verursachen. Hangrutschungen treten vor allem dann verstärkt auf, wenn Starkregen in ansonsten trockenen Perioden fällt. Einfluss auf die Qualität und Nutzbarkeit von Straßen nehmen auch hohe Sommertemperaturen durch mögliche Material- und Strukturschäden sowie Verformungen an Straßenbelägen (Spurrillen). Bei Nässe wiederum erhöhen diese Schäden die Rutschgefahr für Fahrzeuge (TRB 2008).

Hitzewellen können zudem zu hohen Temperaturen in den Innenräumen von Fahrzeugen führen und so die körperliche Fitness und Konzentration der Fahrer mindern (Zebisch et al. 2005; Mahammadzadeh & Biebeler 2009). Erhöhte Unfallzahlen sind nach einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen in diesem Fall wahrscheinlich (Armingier et al. 1995). Die erwartete Verringerung der Anzahl von Frosttagen im Klimawandel wirkt sich voraussichtlich positiv aus. Straßenbelagschäden durch Schnee, Eis und Frost könnten abnehmen und in der Folge zu einer Verringerung von Unfallzahlen, Verspätungen sowie Rückstaus durch witterungsbedingte Abfertigungsstopps führen (TRB 2008; Schuchardt & Wittig 2012). Ein häufigerer Wechsel von Frost- und Nicht-Frosttagen kann jedoch auch verstärkte Belastungen der Straßendecke verursachen (Hoffmann, Gebauer, et al. 2011).

#### **Schiene**

Obwohl der Bahnverkehr weniger als der Verkehr auf der Straße von Wetterverhältnissen abhängig ist, können Klimawandelauswirkungen auch für diesen weitreichende Folgen haben, denn die fehlende Möglichkeit zur Nutzung von Alternativrouten im Falle eines witterungsbedingten Streckenausfalls kann zu signifikanten Verspätungen im Warentransport führen (Leviäkangas & Saarikivi 2012).

Starkregenereignisse können eine Überlastung von Drainagesystemen zur Folge haben und damit zu Unter- und Überspülungen von Gleisen führen. Unterspülung gefährdet die Stabilität von Bahndämmen, Gleisbetten, Böschungen und anderen Erdbauwerken (Hoffmann, Rotter, et al. 2011; TRB 2008).

Starke Hitze kann Schäden an Schienen verursachen und zu Fehlfunktionen (wie z.B. Schienenlagefehler) führen. Wesentliche Schäden sind Verformungen, die bei sehr hohen Sommertemperaturen auftreten können. In diesem Fall ist die Verkehrssicherheit und Pünktlichkeit des Schienenverkehrs nicht mehr gewährleistet; Zuggeschwindigkeiten müssen deutlich reduziert werden (Savonis et al. 2008). Zusätzlich ist die Spanne der

Temperaturschwankungen für mögliche Schäden an den Schienenanlagen relevant. Einzelne heiße Tage im Frühjahr sind aufgrund der Temperatursprünge belastender für die Infrastruktur als dauerhaft hohe Temperaturen (TRB 2008; Lindgren et al. 2009).

Durch Extremwetterereignisse kann zudem die Funktion der elektronischen Ausstattung (an Fahrzeugen, Weichen und Signalanlagen) und am Oberleitungssystem gestört werden. Während Hitze die stärksten Auswirkungen auf elektronische Geräte verursacht, treten infolge von Stürmen häufig Schäden an Oberleitungen auf (Pechan et al. 2011; Lindgren et al. 2009). Durch Sturmereignisse umgestürzte Bäume haben in der Vergangenheit zudem zu Streckenblockaden geführt.

Die beschriebenen Folgen von Extremwetterereignissen wie Schienenverformungen, können zu Verzögerungen und Ausfällen im Gütertransport und damit zur Unterbrechung von Logistikketten führen. Es entstehen Folgekosten für den Bedarf an zusätzlicher Lagerung oder Lieferverzögerung (StMUG & IHK Bayern 2012). Schuchardt & Wittig (2012) weisen darüber hinaus darauf hin, dass es im Bahnverkehr durch häufigere Abfertigungsstopps zu einer Zunahme an Rückstaus und Engpässen an der Hafenbahn kommen kann.

### **Binnenschifffahrt**

Für die Binnenschifffahrt sind die Veränderungen in Temperatur- und Niederschlagsmengen relevant, da sie den Wasserpegel von Flüssen maßgeblich beeinflussen. Im Forschungsprojekt KLIWAS wurde für Rhein und Elbe durch hydrologische Modelle simuliert, wie sich die jährlichen Schwankungen des Wasserstandes durch den Einfluss des Klimawandels verändern werden. Bis 2050 werden zunächst nur leichte Änderungen im Pegelverlauf erwartet, während für die zweite Jahrhunderthälfte vor allem höhere Wasserstände für die Wintermonate und deutlich niedrigere Pegel für Sommer und Herbst erwartet werden (Nilson et al. 2011).

Die Folgen von Niedrigwasser am Rhein für Binnenschifffahrt, verladende Wirtschaft und anliegende Häfen wurden von Scholten und Rothstein (2012) untersucht. Veränderte Transportkapazität und Zuverlässigkeit der Binnenschifffahrt, sowie Auswirkungen auf die Lagerhaltung der Unternehmen wurden unter dem Einfluss der erwarteten Pegeländerungen betrachtet. Bedingt durch die Ergebnisse der oben beschriebenen Projektionen, konnten auch hier vor allem langfristige Trends zu sinkenden Transportkapazitäten, entsprechend steigenden Stückkosten und einem Bedarf an größerer Lagerhaltung bei den Unternehmen identifiziert werden (Holtmann et al. 2011).

Neben diesen langfristigen Trends zeigen Extremereignisse wie der Hitzesommer 2003 durch Trockenperioden und anhaltend hohe Temperaturen Auswirkungen für die Binnenschifffahrt. Die Verkehrsleistung auf dem Rhein sank zu dieser Zeit um 9% (Heymann 2007).

Lange Regenperioden und Starkregenereignisse führen dagegen häufig zu hohen Wasserständen, die durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit ein Sicherheitsrisiko für den Schiffstransport darstellen. Im Fall von Hochwasser sind zudem Naturschutzfragen zu berücksichtigen, da der Wellenschlag von Schiffen Flächen überspülen und damit schädigen kann (Zebisch et al. 2005). Mit Stürmen und Sturmfluten sind vor allem in Küstenregionen Verzögerungen beim Löschen und Beladen von Schiffen verbunden. Für den Warenumsatz in der Binnenschifffahrt wird erwartet, dass die Anzahl der Tage zunehmen wird, an denen es zu Verladestopps kommt (Schuchardt & Wittig 2012).



## **Flugverkehr**

Für den Flugbetrieb und damit die termingerechte Abwicklung von Gütertransporten ist sowohl direkt durch das Auftreten bestimmter Wetterereignisse, als auch indirekt durch die Störung anderer Flughäfen und der Supply Chain betroffen. Wichtigste Ursache für Verspätungen im Flugverkehr ist das Wetter im Nahbereich von Flughäfen (CODA 2010). Zu den kritischen Wetterbedingungen zählen Wind (Turbulenzen, Böen und Scherwinde), verringerte Sicht (Nebel, Niederschlag und Hochnebel), Starkregen und im Winter Frost und starker Schneefall.

Die Auswirkung eines kritischen Wetterereignisses hängen von der momentanen Auslastung des betroffenen Flughafens ab (Sasse & Hauf 2003). Das stark wachsende Verkehrsaufkommen im Flugverkehr macht die Betriebsabläufe sensibel gegenüber Störungen. Viele Flughäfen operieren bereits am Kapazitätslimit, die Verkehrsentwicklung lässt eine stetig zunehmende Auslastung der europäischen Flughäfen erwarten. Veränderte Wetterbedingungen sind vor diesem Hintergrund besonders bei der Weiterentwicklung technischer und organisatorischer Prozesse zu berücksichtigen (Leviäkangas & Saarikivi 2012).

In den letzten Jahren lässt sich in der europäischen Statistik (CODA 2010) insbesondere ein Anstieg kritischer Witterungsbedingungen im Winter verbunden mit Enteisen und Schneeräumungen erkennen. Häufigere Stürme und starker Wind, die zu den wahrscheinlichen Auswirkungen des Klimawandels gehören, führen zu Verzögerungen und Ausfällen an Flughäfen (Heymann 2007; Mahammadzadeh & Biebeler 2009). Schwerwiegende Folgen könnte eine Änderung der Hauptwindrichtung haben. Für den Flughafen Schiphol analysieren Koning et al. (2002) die Auswirkungen für den Fall, dass die Start- und Landebahnen nicht in der Hauptwindrichtung liegen und erwarten deutliche Kosten. Eine geringere Störung der Betriebsabläufe an Flughäfen wird zukünftig durch das Ausbleiben von Nebel erwartet.

### **3.2 Auswirkungen des Klimawandels auf weitere Elemente betrieblicher Wertschöpfungsketten**

Die Transportinfrastruktur verbindet im Logistiknetz die Knotenpunkte des Warenumschsags mit den Orten der Weiterverarbeitung und Fertigstellung der Güter. Die komplexen Abläufe an Auslieferungszentren und Güterterminals werden unmittelbar durch Störungen von Transportwegen beeinflusst (McKinnon & Kreie 2010). Allerdings sind auch für den Betrieb der Anlagen und Gebäude selbst sowie für die eingesetzten Fahrzeuge und Transportbehälter Veränderungen der Rahmenbedingungen durch den Klimawandel zu erwarten, die sich auf die Kriterien Lieferzuverlässigkeit, Lieferzeit und Lieferqualität der Waren auswirken können.

#### **Anlagen und Gebäude**

Für die Anlagen des Güterumschsags ist durch steigende Temperaturen und im Besonderen bei Hitzeereignissen ein erhöhter Bedarf für die Temperaturregulierung zu erwarten. Kühl- und Lagerhäuser sollten für die Qualitätssicherung der Waren auf höhere Temperaturen ausgerichtet werden (Meincke 2011). Auch für Güter auf Außenlagerflächen und das dort arbeitende Personal sind die steigenden Temperaturen zu berücksichtigen (Schuchardt & Wittig 2012).

Ebenso sind Anlagen und Gebäude von erhöhten Niederschlägen und Starkregeneignissen betroffen. Im Extremfall können durch Überlastungen von Entwässerungsanlagen Überflutungen entstehen und zu Beschädigungen der Baustuktur von Gebäuden und der Lagerflächen führen (Osthorst et al. 2012). Problematisch ist in diesem Zusammenhang der häufig nicht ausreichende Versicherungsschutz vieler Unternehmen für Gebäudeschäden gegenüber Extremwetter

(Hoffmann, Gebauer, et al. 2011; Finley & Schuchard 2009). Osthorst et al. (2012) weisen zudem auf mögliche Einschränkungen im Betriebsablauf bis hin zum Abfertigungsstopp an Umschlagzentren hin.

In Küstenregionen müssen Hafenanlagen langfristig auf den Meeresspiegelanstieg vorbereitet werden. Vor allem die Kombination mit Extremwetterereignissen ist für die ausreichende Dimensionierung im Bau von Sicherungs- und Entwässerungsanlagen relevant (Nibbe et al. 2011).

### **Fahrzeuge, Transportbehälter und Güter**

Steigende Temperaturen sind vor allem für den Transport temperatursensibler Waren von Bedeutung, da die Aufrechterhaltung der Kühlkette unter diesen Bedingungen erschwert wird und höhere Kosten für die Kühlprozesse entstehen können (Beermann et al. 2012). Zudem können steigende Temperaturen zukünftig einen höheren Bedarf an temperaturgeführten Transporten hervorrufen, da die Temperaturen in normalen LKW- oder Bahnaufliegern auch für Güter mit mittlerer Temperatursensibilität häufiger einen kritischen Punkt erreichen (Osthorst et al. 2011). Starkregenereignisse können Wasserschäden an (Container-)Waren verursachen, mit zunehmenden Niederschlägen steigt allgemein das Risiko eindringender Nässe in die Laderäume (Schuchardt & Wittig 2012). Um solche Auswirkungen auf die transportierten Güter zu vermeiden, sollten Wartungszeiträume für die eingesetzten Fahrzeuge und Transportbehälter eventuell verkürzt und die Dauer der Nutzung von Containern und Planen möglichst verringert werden (Osthorst et al. 2012).

### **Organisation und Planung der Supply Chain**

Die Auswirkungen des Klimawandels stellen nur einen Aspekt der vielfältigen Veränderungen dar, die die Abläufe in Logistik und Supply Chain beeinflussen. Branchenspezifische Trends in der Organisation von Produktionsprozessen - wie etwa der verstärkte Einsatz von Just-in-Time Logistik - sind dagegen grundlegende Treiber einer veränderten Nachfrage an die Logistik. Im Zuge der Just-in-Time-Logistik verzichteten viele Unternehmen auf Lagerhaltung oder reduzieren diese auf ein Minimum. Die Abhängigkeit von einer zuverlässigen und pünktlichen Versorgung mit Rohstoffen und Teilprodukten über die Transportwege steigt in diesem Zusammenhang entsprechend (BMBF 2004).

Global betrachtet sind die Auswirkungen des Klimawandels in vielen Weltregionen bereits heute deutlich zu erkennen. Das Sourcing von Rohstoffen für die Produktionsprozesse vieler Unternehmen kann durch die bereits einsetzenden Veränderungen von Temperatur und Wasserverfügbarkeit in vielen Ländern beeinflusst werden. Vor allem für den Lebensmittelsektor spielen Verschiebungen landwirtschaftlicher Zonen (IPCC 2007) eine wichtige Rolle. Generell kann es durch klimawandelbedingte Veränderungen zu Unsicherheiten in der Rohwaren- und Rohstoffverfügbarkeit kommen, die zu Veränderungen von Quantität und Qualität und zu Preisschwankungen führen können (McKinnon & Kreie 2010).

## 4. Optionen für die robuste Gestaltung von Logistik und Supply Chain im Klimawandel

Ergebnisse der praxisorientierten Forschung gehen bisher nur wenig auf die Entwicklung von proaktiven Anpassungsoptionen für Logistik und Supply Chain ein. Die relevanten Erkenntnisse für eine robuste Gestaltung von Logistik und Supply Chain werden im Folgenden kurz skizziert. Anhand eines praktischen Beispiels werden Anpassungsoptionen eines Logistikunternehmens dargestellt. Zudem werden die Herausforderungen in der Gestaltung von Lieferketten am Beispiel von Unternehmen am Rhein beschrieben.

### 4.1. Logistikunternehmen - Paneuropa-Rösch GmbH

Die Paneuropa-Rösch GmbH ist seit 2009 Praxispartner im Forschungsprojekt „nordwest2050“<sup>5</sup>; Innerhalb dieses Projekts wurde eine Analyse der klimawandelinduzierten Betroffenheit des Unternehmens durchgeführt (Beermann et al. 2012).

Die Paneuropa-Rösch GmbH ist ein europaweit aktives Logistikunternehmen mit Hauptsitz im niedersächsischen Vechta. Schwerpunkt im Leistungsspektrum des Unternehmens ist der kombinierte Verkehr auf Schiene und Straße. Durch den kombinierten Verkehr können die unterschiedlichen Vorteile der Verkehrsträger zum Transport von großen Gütermengen über lange Strecken einerseits und der schnellen und flexiblen Verteilung von Gütern andererseits optimal genutzt werden. Das Unternehmen bietet für empfindliche Waren eine moderne technische Ausstattung für den temperaturgeführten Transport an (Paneuropa-Rösch GmbH 2013).

Bedingt durch die Ausrichtung des Unternehmens mit Schwerpunkt im kombinierten Verkehr muss das Unternehmen vor allem die unter 3.1. beschriebenen Veränderungen in der Zuverlässigkeit der Transportinfrastruktur Straße und Schiene beobachten. Die Organisation und Überwachung der temperaturgeführten Transporte sensibler Waren ist durch die steigenden Temperaturen - im Besonderen aber durch häufigere Hitzewellen - eine besondere Herausforderung. Hitzebelastungen möchte Paneuropa-Rösch auch im Hinblick auf die Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter/innen, vor allem des Fahrpersonals vorbeugen (Beermann et al. 2012).

Auch indirekte Folgen des Klimawandels, z.B. durch regulatorische Rahmenbedingungen und sich verändernde Marktbedingungen beobachtet und analysiert das Unternehmen. Die zunehmende Bedeutung von Labels und Monitoring-Mechanismen für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß (z. B. Carbon Footprint) sowie die Einführung weiterer regulatorischer Vorgaben wie Maut oder Umweltplaketten werden hier beispielhaft genannt (Beermann et al. 2012).

Den Auswirkungen des Klimawandels passt sich die Paneuropa-Rösch GmbH mit verschiedenen Maßnahmen an. Der veränderten Zuverlässigkeit der genutzten Transportinfrastrukturen begegnet das Logistikunternehmen durch größere Flexibilität in der Organisation des Transportsystems. Konkret bedeutet dies für die Paneuropa-Rösch GmbH bei Störungen des einen Verkehrsträgers relevante Gütermengen auf den jeweils anderen Verkehrsträger verlagern zu können. Eine solche Flexibilität erfordert zunächst die Vorhaltung ausreichender Pufferkapazitäten für beide Transportmodi. Im Falle von Störungen im Betriebsablauf der Bahn kann Paneuropa-Rösch so den alternativen Transport per LKW forcieren. Die Flexibilität und

---

<sup>5</sup> Nordwest 2050 ist ein Projekt im Rahmen des Programms „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten (KLIMZUG)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. [www.nordwest2050.de](http://www.nordwest2050.de)

Reaktionsfähigkeit des Unternehmens ist zudem durch die Diversität der transportierten Güter bedingt. Es ergeben sich Vorteile, wenn nicht nur sensible sondern auch robuste Güter zu den transportierten Gütern des Unternehmens gehören, da sich robuste Güter leichter zwischenlagern lassen (Beermann et al. 2012).

Diese organisatorischen Maßnahmen des Unternehmens basieren auf einer effizienten Kommunikation mit allen Beteiligten innerhalb der Transportkette, die vor allem im Fall von Extremwetterereignissen von großer Bedeutung ist. Die Grundlagen für eine effiziente Kommunikation in komplexen Logistiksystemen wurden durch geeignete technische Maßnahmen verbessert. So setzt Paneuropa-Rösch eine neuentwickelte Dialogtelematik ein, die für den temperaturgeführten Transport ein proaktives Temperatur- und Gerätemanagement durch den Disponenten sowie eine lückenlose Rückverfolgbarkeit der Transportkette ermöglicht. Das System gewährt dadurch den zuverlässigen Transport temperatursensibler Waren auch unter dem Einfluss starker äußerer Temperaturschwankungen. Zur Verringerung möglicher Hitzebelastungen der Fahrer/innen wurde der Fuhrpark des Unternehmens mit leistungsstärkeren Standklimaanlagen ausgestattet und beim Kauf von Neufahrzeugen werden vorrangig weiße Führerhäuser gewählt (Beermann et al. 2012).

Die letzten Beispiele zeigen, dass einige Anpassungsmaßnahmen durch vorausschauende Planung einfach zu realisieren, jedoch teilweise (wie etwa die höhere Leistung der Klimaanlagen) mit Investitionen und höheren laufenden Kosten im Unternehmen verknüpft sind. Andere Maßnahmen, wie etwa im Bereich der Befestigung und Abdichtung von LKW-Planen sind allerdings mit einem geringen Aufwand umzusetzen (Beermann et al. 2012).

Ergänzend lassen sich an dieser Stelle weitere Anpassungsoptionen aus der praxisorientierten Forschung nennen. So werden verbesserte Klimaanlagen auch für die Arbeitskabinen von Kränen empfohlen (Meincke 2011) sowie Investitionen in moderne Heizungs- und Klimaanlagen für Lager- und Umschlagzentren vorgeschlagen (Günther & Stechemesser 2011). Meincke (2011) beschreibt zudem ein Frühwarnsystem für absehbare Verladestopps, in welches alle Akteure der Logistikkette eingebunden werden könnten.

#### **4.2. Robuste Gestaltung von Lieferketten: Unternehmen am Rhein**

Wirtschaftliche Auswirkungen von Verzögerungen und Ausfällen von Gütertransporten auf dem Rhein (siehe 3.1.) hängen stark von der Branche und dem Bedarf an Zulieferungen der jeweiligen Produktion ab. Während Unternehmen der konventionellen Energieerzeugung sowie die Kohle-, Stahl- und Bauindustrie weniger von regelmäßigen Lieferungen abhängig sind, benötigen Unternehmen der Lebensmittelindustrie, Hersteller von Halbfabrikaten und Raffinieren häufige und zuverlässige Transporte (Scholten & Rothstein 2009). Lagerkapazitäten und die Fähigkeit, die Produktion ohne Zulieferung fortsetzen zu können, beeinflussen die Betroffenheit der Unternehmen gegenüber Niedrigwasser. Aufgrund hoher Investitionskosten wird die Vergrößerung von Lagerkapazitäten eher nicht als kosteneffiziente Anpassungsoption angesehen. Große Vorteile würden nach Scholten (2010) gleichwohl verbesserte Vorhersagen für niedrige Pegelstände des Rheins bergen, auf Basis derer Unternehmen die Möglichkeit erhielten, die Lagerbestände vor einem solchen Ereignis zu füllen.

Eine zusätzliche Folge von Niedrigwasser ist, dass die eingesetzten Schiffe bei Niedrigwasser eine geringere Transportkapazität haben. Eine Teilkompensation kann durch höhere Geschwindigkeiten der Schiffe erreicht werden, resultiert aber in höheren Frachtkosten für die Unternehmen (Jonkeren 2009).

Die Verlagerung auf alternative Transportwege (z.B. Straße und Schiene) für die Zulieferung wird häufig als mögliche weitere Handlungsoption für Unternehmen angegeben, da viele Unternehmen über mehrere Zugänge zu Transportinfrastruktur verfügen. Da kurzfristig meist aber nur wenig freie Kapazität auf Straße und Schiene herrscht, sind die Möglichkeiten der Verlagerung auch hier begrenzt (Scholten & Rothstein 2009).

Die genannten Möglichkeiten die Zulieferkette des Unternehmens über andere Verkehrsträger zu stabilisieren, ist mit höheren Transportkosten verknüpft. Sollen diese höheren Kosten vermieden werden, kann das Unternehmen die Produktion reduzieren oder im Extremfall einstellen. Während früherer Niedrigwasserperioden wurden häufig alternative Transportwege zusammen mit einer verringerten Produktion eingesetzt (Scholten 2010).

Mit langfristigeren Investitionen ist die Anpassungsoption einer engeren räumlichen Verknüpfung von Produktionsstandorten zur Vermeidung von Transportwegen verbunden. Unternehmen integrieren in diesem Fall mehrere Produktionsschritte an einem Standort (Bruinsma et al. 2012).

Als weitere Maßnahme wird zusätzlich auch eine Aufstockung von Versicherungspolice im Sinne einer business interruption insurance benannt, die den möglichen Schaden durch Störungen in der Lieferkette und Verspätungen absichern kann (Finley & Schuchard 2009).

## 5. Schlussfolgerung und Diskussionsfragen

Das Praxisbeispiel zeigt eine Reihe bereits angewandter Anpassungsoptionen, die Unternehmen für eine robustere Gestaltung von Logistik und Supply Chain zur Verfügung stehen. Unternehmensbefragungen stellen jedoch heraus (Schulz 2009), dass sich bisher nur ein geringer Anteil von Unternehmen (23%) intensiv mit Klimawandelauswirkungen auf die Logistik auseinandersetzt, während die Mehrzahl der Unternehmen die Veränderungen durch den Klimawandel eher als Randthema wahrnimmt (Schulz 2009).

Im Stakeholderdialog zur Klimaanpassung in Logistik und Supply Chain soll zunächst geklärt werden, welche Herausforderungen des Klimawandels von den Teilnehmenden wahrgenommen werden. In einer ersten Arbeitsphase wird daher die folgende Fragestellung diskutiert:

- Welche Veränderungen durch den Klimawandel sind für Logistik und Supply Chain prioritär?

Anknüpfend an diese Frage sind die vorgestellten Anpassungsoptionen Ausgangspunkt für die Sammlung und den Austausch von Erfahrungen für weitere mögliche Anpassungsmaßnahmen und -strategien:

- Wie können Logistik und Supply Chain unter den Bedingungen des Klimawandels robust gestaltet werden?

Für die effiziente Planung proaktiver Anpassungsmaßnahmen und -strategien benötigen die Akteure in Logistik und Supply Chain ausreichende Kenntnis über die möglichen Klimawandelauswirkungen für ihr spezifisches Arbeitsfeld, um eine Priorisierung der Optionen vornehmen zu können. Es besteht somit ein fortwährender Bedarf, den Informationsstand branchenspezifisch zu aktualisieren.

Im Stakeholderdialog zur Klimaanpassung in Logistik und Supply Chain sollen abschließend bestehende Unterstützungsmöglichkeiten durch Behörden und Forschung benannt und weiterer Bedarf aus der Perspektive der Teilnehmenden diskutiert werden.

## 6. Literatur

Beermann, M.; H. Bramlage & M. Dolinski (2012): Klimaangepasste Logistik. Transport temperatursensibler Waren unter Klimaeinfluss. In: Ökologisches Wirtschaften 3. 24-. 26.

BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (2004): Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimaauswirkungen. URL:

[http://www.bmbf.de/pub/forschung\\_fuer\\_den\\_klimaschutz\\_schutz\\_vor\\_klimawirkung.pdf](http://www.bmbf.de/pub/forschung_fuer_den_klimaschutz_schutz_vor_klimawirkung.pdf).,

Zugriffsdatum: 2. August 2013.

Bovensiepen, G.; D. Hadjinikolova; S. Rumpff & C. Wulff (2008): Klimawandel: Schlagwort oder Wirklichkeit? Die Auswirkungen auf Handel und Konsumgüterindustrie. Frankfurt am Main: PricewaterhouseCoopers AG.

Bruinsma, F.; B. Holtman & B. Ubbels (2012): ECCONET - Effects of climate change on the inland waterway transport network, Deliverable 2.1.4. - Adaptation of production processes and storekeeping by shippers. URL: [http://www.econet.eu/deliverables/ECCONET\\_D2.1.4\\_final.pdf](http://www.econet.eu/deliverables/ECCONET_D2.1.4_final.pdf).,

Zugriffsdatum: 27. Februar 2013.

CODA, Central Office for Delay Analysis (2010): CODA Digest - Delays to Air Transport in Europe. Annual 2010. URL: <http://publish.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/facts-and-figures/coda-reports/CODA%20Digests%202010/coda-digest-annual-2010.pdf>., Zugriffsdatum: 5. März 2013.

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.

COM(2007) 354 final. Brussels. URL:

[http://www.ccre.org/docs/climate\\_change\\_cemr\\_response.pdf](http://www.ccre.org/docs/climate_change_cemr_response.pdf)., Zugriffsdatum: 6. Oktober 2011.

COM, Commission of the European Communities (2009): White Paper: Adapting to Climate Change: Towards a European Framework for Action. COM(2009) 147 final. Brussels. URL: <http://ec.europa.eu>., Zugriffsdatum: 6. Oktober 2011.

Deutscher Wetterdienst (2012): Deutscher Klimaatlas. In: Deutscher Wetterdienst. Wetter und Klima aus einer Hand. Deutscher Klimaatlas. URL: [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P28800190621308654463391](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=P28800190621308654463391).,

DWD [Deutscher Wetterdienst] (2009): Klimawandel im Detail - Zahlen und Fakten zum Klima in Deutschland. Zahlen und Fakten zur DWD-Pressekonferenz am 28. April 2009. Berlin. URL: [http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK\\_\\_28\\_\\_04\\_\\_09/ZundF\\_\\_PK\\_\\_20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF\\_PK\\_20090428.pdf](http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK__28__04__09/ZundF__PK__20090428,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZundF_PK_20090428.pdf)., Zugriffsdatum: 20. Oktober 2011.

Ehmer, P.; S. Heng & E. Heymann (2008): Logistik in Deutschland. Wachstumsbranche in turbulenten Zeiten. Deutsche Bank Research. Frankfurt am Main.

Eisenack, Klaus; Rebecca Stecker; Diana Reckien & Esther Hoffmann (2012): Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 17. 451-. 469.

Field, C.B.; V. Barros; T.F. Stocker & Q. Dahe (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (Hrsg.). Cambridge/ New York: Cambridge University Press.

Finley, T. & R. Schuchard (2009): Adapting to Climate Change: A Guide for the Transportation Industry. URL:

[http://www.bsr.org/reports/BSR\\_Climate\\_Adaptation\\_Issue\\_Brief\\_Transportation.pdf](http://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Transportation.pdf),

Zugriffsdatum: 2. September 2013.

Geden [Oliver] (2012): Die Modifikation des 2-Grad-Ziels Klimapolitische Zielmarken im Spannungsfeld von wissenschaftlicher Beratung, politischen Präferenzen und ansteigenden Emissionen. SWP-Studie. Berlin. URL: [http://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/studien/2012\\_S12\\_gdn.pdf](http://www.swp-berlin.org/fileadmin/contents/products/studien/2012_S12_gdn.pdf),. Zugriffsdatum: 28. Februar 2013.

Günther, E. & K. Stechemesser (2011): Zu den Auswirkungen des Klimawandels im Verarbeitenden Gewerbe. Ergebnisse einer Befragung unter Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes. Mediteranes 3.

Helmholtz Gemeinschaft (2013): Regionaler Klimaatlas Deutschland, Februar. URL: <http://www.regionaler-klimaatlas.de/>,. Zugriffsdatum: 28. Februar 2013.

Helmholtz-Zentrum Geesthacht (2011): Regionaler Klimaatlas Deutschland. URL: <http://www.regionaler-klimaatlas.de/>,. Zugriffsdatum: 28. Juli 2011.

Heymann, Eric (2007): Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß! Aktuelle Themen 388. 4.Juni. 24-. 26. Zugriffsdatum: 28. September 2009.

Hoffmann, Esther; Jana Gebauer; Elisa Dunkelberg; Jesko Hirschfeld; Bernd Hirschli; Maja Rotter; Antje Stegnitz; Sven Wurbs; Wiebke Lotz & Martin Welp (2011): Stakeholder-Dialoge: Chancen und Risiken des Klimawandels. Climate Change 02/2011. Dessau: Umweltbundesamt.

Hoffmann, Esther; Maja Rotter & Julia Glahe (2011): Der Klimawandel und seine Folgen - Herausforderungen für den Schienenverkehr. Dokumentation des Branchenworkshops Schienenverkehr vom 8. Februar 2011. Berlin/ Oldenburg: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung & Universität Oldenburg. URL: [http://www.klimachamaeleon.de/htm/documents/Dokumentation\\_Verkehrsworkshop\\_2011-02-27.pdf](http://www.klimachamaeleon.de/htm/documents/Dokumentation_Verkehrsworkshop_2011-02-27.pdf),

Zugriffsdatum: 4. September 2012.

Holtmann [B.]; Scholten [A.]; Baumhauer [R.]; Rothstein [B.]; Gründer [D.]; Renner [V.]; Nilson [E.] (2011): Analysen zur Betroffenheit der Binnenschifffahrt und der Wirtschaft am Rhein. Tagungsband zur 2. Statuskonferenz 25./ 26.10.2011. In: KLIWAS 2011: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Berlin.

IHK für München und Oberbayern [Industrie- und Handelskammer München und Oberbayern] (2009): Die Wirtschaft und der Klimawandel - Reaktionen der Unternehmen.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Klimaänderung 2007. Synthesebericht. Berlin. URL: [http://www.de-ipcc.de/\\_media/AR4\\_SynRep\\_SPM.pdf](http://www.de-ipcc.de/_media/AR4_SynRep_SPM.pdf),. Zugriffsdatum: 16. April 2012.

Jacob, Daniela; Holger Göttel; Sven Kotlarski; Philip Lorenz & Kevin Sieck (2008): Klimaauwirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Climate Change 11/08. Dessau: Umweltbundesamt. URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3513.pdf>.

Jonkeren, O. (2009): Adaptation to climate change in inland waterway transport. PhD Thesis. Amsterdam: Vrije Universiteit.

Koning, M.; E. Verkade & J. Hakfoort (2002): Gevolgen van uitbreiding Schiphol.

KPMG International (2008): Climate Changes Your Business. KPMG's Review of the Business Risks and Economic Impacts at Sector Level. URL: [http://www.kpmg.com/SiteCollectionDocuments/Climatechang\\_riskreport.pdf](http://www.kpmg.com/SiteCollectionDocuments/Climatechang_riskreport.pdf). Zugriffsdatum: 16. April 2008.

Leviäkangas, P. & P. Saarikivi (2012): European Extreme Weather Risk Management - Needs, Opportunities, Costs and Recommendations. Extreme Weather Impacts on European Networks of Transport. Grant Nr. 233919.

Lindgren, Johan; Daniel K. Jonsson & Annika Carlsson-Kanyama (2009): Climate Adaptation of Railways: Lessons from Sweden. In: EJTIR. 9 (2). 164-181.

Mahammadzadeh, M.; E. Chrischilles & H. Biebeler (2013): Klimaanpassung in Unternehmen und Kommunen - Betroffenheiten, Verletzlichkeiten und Anpassungsbedarf. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln.

Mahammadzadeh, Mahammad & Hendrik Biebeler (2009): Anpassung an den Klimawandel. Köln. Forschungsberichte aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln Nr. 57. Institut der deutschen Wirtschaft.

McKinnon, A. & A. Kreie (2010): Adaptive Logistics: Preparing logistical systems for climate change. Paper presented at the Logistics Research Network Conference in Harrogate. 8-10 September 2010. URL: <http://www.greenlogistics.org/SiteResources/15thLRN/McKinnon%20and%20Kreie%20Adaptive%20Logistics.pdf>. Zugriffsdatum: 28. Januar 2013.

Meincke, A. (2011): Projekt „Resiliente Hafenstrukturen“. 14. Werkstattbericht. URL: <http://www.frischkoepe.de/inhalt/datei.php?id=OTAxMDAwNTM4Oy07L3Vzci9sb2NhbC9odHRwZC92aHRkb2NzL21ldHJvcG9scmVnaW9uL21ldHJvcG9scmVnaW9uL21lZGllbi9kb2t1bWVudGUvMTRfaGFmZW53b3Jrc2hvcC5wZGY%3D>. Zugriffsdatum: 2. August 2013.

Nagel, A. (2011): Logistik im Kontext der Nachhaltigkeit. Ökologische Nachhaltigkeit als Zielgröße bei der Gestaltung logistischer Netzwerke. Berlin: Universitätsverlag.

Nibbe, J.; A. Meincke & W. Osthorst (2011): Klimawandel als Herausforderung für die Hafenwirtschaft. In: A. Karczmarzyk & R. Pfriem (Hrsg.). Klimaanpassungsstrategien in Unternehmen. Marburg: Metropolis.

Nilson [E.]; Carambia [M.]; Krahe [P.] (2011): Ableitung und Anwendung von Abflussszenarien für verkehrswasserwirtschaftliche Fragestellungen am Rhein. Tagungsband zur 2. Statuskonferenz 25./ 26.10.2011. In: KLIWAS 2011: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Berlin.



Osthorst, W.; U. Domstreich; A. Meincke & J. Nibbe (2011): Verwundbarkeitsanalyse Hafen- und Logistikwirtschaft. Wie verwundbar ist die Hafen- und Logistikwirtschaft in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. URL:

<http://www.frischkoepe.de/inhalt/datei.php?id=OTAxMDAwMzg5Oy07L3Vzci9sb2NhbC9odHRwZC92aHRkb2NzL2l1dHJvcG9scmVnaW9uL2l1dHJvcG9scmVnaW9uL2l1ZGllbi9kb2t1bWVudGUvMDRfaytiX2JlaWxhZ2VfaGFmZW4ucGRm,> Zugriffsdatum: 2. August 2013.

Osthorst, W.; A. Meincke; J. Nibbe & C. Mänz (2012): Hafenwirtschaft und Logistik. In: Vulnerabilität der Metropolregion Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel. URL: <http://www.frischkoepe.de/inhalt/datei.php?id=OTAxMDAwNTM2Oy07L3Vzci9sb2NhbC9odHRwZC92aHRkb2NzL2l1dHJvcG9scmVnaW9uL2l1dHJvcG9scmVnaW9uL2l1ZGllbi9kb2t1bWVudGUvbm9yZHdlc3QyMDUwYmVyaWNodF8yX3Z1bG5lcmFiaWxpdGFldHNhbmFseXNlX3diYi5wZGY%3D,> Zugriffsdatum: 2. August 2013.

Ott [Hermann E.]; Richter [Caspar] (2008): Anpassung an den Klimawandel - Risiken und Chancen für deutsche Unternehmen. Wuppertal Working Paper Nr. 171. 14-. 16.

Paneuropa-Rösch GmbH (2013): Leistungen. URL: <http://www.paneuropa.com/leistungen/kombiverkehr.html>, Zugriffsdatum: 5. März 2013.

Pechan, Anna; Maja Rotter & Klaus Eisenack (2011): Anpassung in der Versorgungswirtschaft. Empirische Befunde und Einflussfaktoren. In: André Karczmarzyk & Reinhard Pfriem (Hrsg.). Klimaanpassungsstrategien von Unternehmen. Marburg: Metropolis. 313-. 336.

Rossetti, M. (2002): Potential impacts of Climate Change on Railroads. URL: <http://climate.dot.gov/documents/workshop1002/workshop.pdf>, Zugriffsdatum: 2. August 2013.

Sasse, M. & T. Hauf (2003): A Study of Thunderstorm-Induced Delays at Frankfurt Airport, Germany. In: Meteorological Applications. 10. 21-. 30.

Savonis, Michael J.; Virginia R. Burkett & Joanne R. Potter (2008): Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase 1. U.S. Climate Change Science Program. Synthesis and Assessment Product 4.7. URL: <http://www.climatechange.gov/Library/sap/sap4-7/final-report/sap4-7-final-all.pdf>, Zugriffsdatum: 6. August 2010.

Scholten, A. (2010): Massenguttransport auf dem Rhein vor dem Hintergrund des Klimawandels. Würzburger Geographische Arbeiten. 104. Würzburg: Universität Würzburg.

Scholten, A. & B. Rothstein (2009): Kritische Einflussgrößen für die massengutaffine Wirtschaft. In: Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Bonn.

Scholten, Anja & Benno Rothstein (2012): Auswirkungen von Niedrigwasser und Klimawandel auf die verladende Wirtschaft, Binnenschifffahrt und Häfen entlang des Rheins. Untersuchungen zur gegenwärtigen und zukünftigen Vulnerabilität durch Niedrigwasser. Bd. Würzburger Geographische Arbeiten. 107 Bd. Würzburg: Selbstverlag des Instituts für Geographie und Geologie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Schuchardt, B.; S. Wittig; P. Mahrenholz; K. Kartschall; C. Mäder; C. Haße & A. Daschkeit (2008): Deutschland im Klimawandel. Anpassung ist notwendig. URL: [http://www.ufz.de/data/Deutschland\\_im%20\\_Klimawandel8973.pdf](http://www.ufz.de/data/Deutschland_im%20_Klimawandel8973.pdf), Zugriffsdatum: 16. April 2012.

Schuchardt, Bastian & Stefan Wittig (2012): Vulnerabilität der Metropol region Bremen-Oldenburg gegenüber dem Klimawandel (Synthesebericht). nordwest2050-Berichte. Heft 2. Bremen / Oldenburg.

Schulz, S. (2009): Auswirkung der Klimaveränderungen auf die logistischen Prozesse. Haben sich die Unternehmen auf den Weg gemacht? Düsseldorf: ANXO Management Consulting GmbH.

Spekat, Arne; Wolfgang Enke & Frank Kreienkamp (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. Endbericht. Dessau: Umweltbundesamt. URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf>., Zugriffsdatum: 10. Juli 2011.

StMUG [Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit]; IHK Bayern [Bayrischer Industrie- und Handelskammertag] (2012): Folgen des Klimawandels - Verkehr Tourismus und Energieversorgung vor neuen Herausforderungen. München. URL: <http://www.muenchen.ihk.de/mike/presse/Anhaenge/Folgen-des-Klimawandels-Broschuere.pdf>., Zugriffsdatum: 14. September 2012.

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

Zebisch, Marc; Torsten Grothmann; Dagmar Schröter; Clemens Hasse; Uta Fritsch & Wolfgang Cramer (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Climate Change. 08/ 05. Dessau.

Baumgarten, Helmut; I.-L. Darkow & H. Zadeck (Hrsg., 2004): Supply-chain-Steuerung und services : Logistik-Dienstleister managen globale Netzwerke - best practices. Berlin: Springer.

BBK, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (eds.,2009): Management von Naturrisiken: Klimawandel als Herausforderung für Unternehmen. URL: [http://www.globalcompact.de/sites/default/files/jahr/publikation/john-koch\\_dgcn-at\\_040209.pdf](http://www.globalcompact.de/sites/default/files/jahr/publikation/john-koch_dgcn-at_040209.pdf)., Zugriffsdatum: 2. August 2012.

Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS (Hrsg., 2012): Rekordjahr 2011, gedämpfte Aussichten für 2012. In: Newsletter Fraunhofer SCS. 04/2012. 2. Zugriffsdatum: 28. Februar 2013.

**Kontakt Autoren**

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Nils Marscheider

Laura Schäfer

Maja Rotter

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

fon +49 (0)30-884594-54

fax +49 (0)30-8825439

Nils.Marscheider@ioew.de