

Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW)
Institute for Economic Policy Research

Sektion Verkehr und Kommunikation
Department of Transport and Communication

Arbeitspapiere Güterverkehr und Logistik
Working Documents of Freight Transport and Logistics

N. 004

Stefan Lüders

Carola Schulz

Auswirkung von Naturkatastrophen auf das Verkehrsverhalten

2010

Kurzfassung der Diplomarbeit „Modellierung zur Abbildung des Verkehrsverhaltens nach dem Eintritt von Naturkatastrophen“ von Stefan Lüders im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, eingereicht am 19. Juli 2007

Inhalt

1	Auswirkungen von Naturkatastrophen auf das Verkehrsverhalten	1
2	Verkehrsentstehung	6
2.1	Kurzfristige Auswirkungen.....	6
2.2	Mittelfristige Auswirkungen	8
2.3	Langfristige Auswirkungen	10
3	Verkehrsverteilung	12
3.1	Kurzfristige Auswirkungen.....	12
3.2	Mittelfristige Auswirkungen	13
3.3	Langfristige Auswirkungen	15
4	Modalwahl.....	17
4.1	Kurzfristige Auswirkungen.....	17
4.2	Mittelfristige Auswirkungen	19
4.3	Langfristige Auswirkungen	22
5	Routenwahl.....	24
5.1	Kurzfristige Auswirkungen.....	24
5.2	Mittelfristige Auswirkungen	27
5.3	Langfristige Auswirkungen	29
6	Güterverkehr	31
6.1	Kurzfristige Auswirkungen.....	31
6.2	Mittelfristige Auswirkungen	32
6.3	Langfristige Auswirkungen	34
7	Fazit und Zusammenfassung	37
	Literaturverzeichnis	41

1 Auswirkungen von Naturkatastrophen auf das Verkehrsverhalten

Viele wirtschaftliche und private Aktivitäten basieren auf einer zuverlässigen Mobilität von Gütern und Personen. Immer wieder werden Verkehrswege von unerwarteten Naturereignissen oder Unfällen beeinträchtigt und verhindern so einen reibungslosen Ablauf dieser Aktivitäten. Je nach Informationsstand werden Reisende oder Spediteure ihr Verkehrsverhalten kurz- und langfristig den neuen Verkehrsverhältnissen anpassen. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Verhaltensänderungen als Auswirkung von extremen Naturereignissen¹ zu untersuchen. Die Ergebnisse der Arbeit können zur Modellierung von Verkehr nach extremen Naturereignissen genutzt werden und damit einen Beitrag zur Berechnung von volkswirtschaftlichen Schäden nach einer Naturkatastrophe leisten. Die Modellierungsergebnisse können anschließend von Verkehrsplanern sowie Katastrophenmanagern genutzt werden, um das Unterbrechungsrisiko für wichtige Abschnitte zu verringern bzw. die Folgen einer Katastrophe durch optimierte Einsatzplanung abzuschwächen.

Die in dieser Arbeit vorgenommene Untersuchung von Verkehrsverhalten orientiert sich an den vier Stufen der klassischen Verkehrsmodellierung:

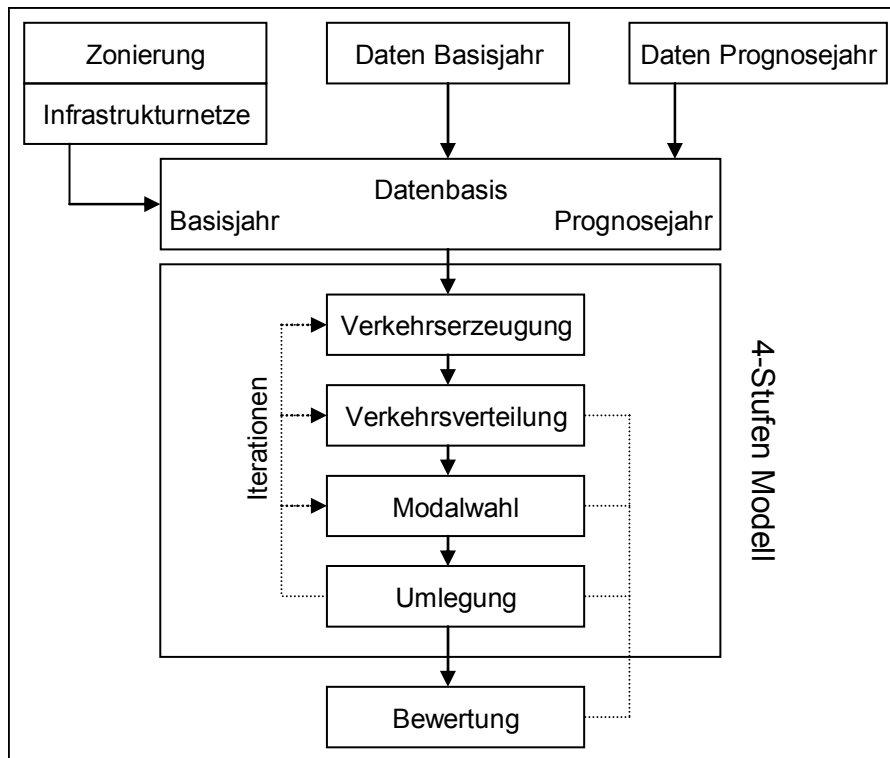
- Verkehrserzeugung (Verkehrsaufkommensberechnung)
- Verkehrsverteilung (Zielwahl)
- Modalwahl (Verkehrsmittelwahl)
- Umlegung (Routenwahl)

Vor der Anwendung der vier Stufen wird üblicherweise das Untersuchungsgebiet in Zonen eingeteilt und das zugehörige Infrastrukturnetz implementiert. Die Stufen werden anschließend einzeln oder integriert (je nach Modellaufbau) durchgeführt und dann anhand von Verkehrszählstellendaten des Basisjahrs und Informationen aus Mobilitätsstudien kalibriert. Durch Eingabe von grundlegenden Daten des Prognosejahrs bzw. des Prognoseszenarios lässt sich mit einem kalibrierten Modell eine Vorhersage bezüglich des Verkehrsverhaltens machen und eine Bewertung gegenüber des Ausgangsszenarios geben.

zeigt das klassische 4-Stufen Modell und seine Ausgangsdaten.

¹ „Extrem“ wird hier ein Naturereignis bezeichnet, das Verkehrsteilnehmern nicht alltäglich begegnet.

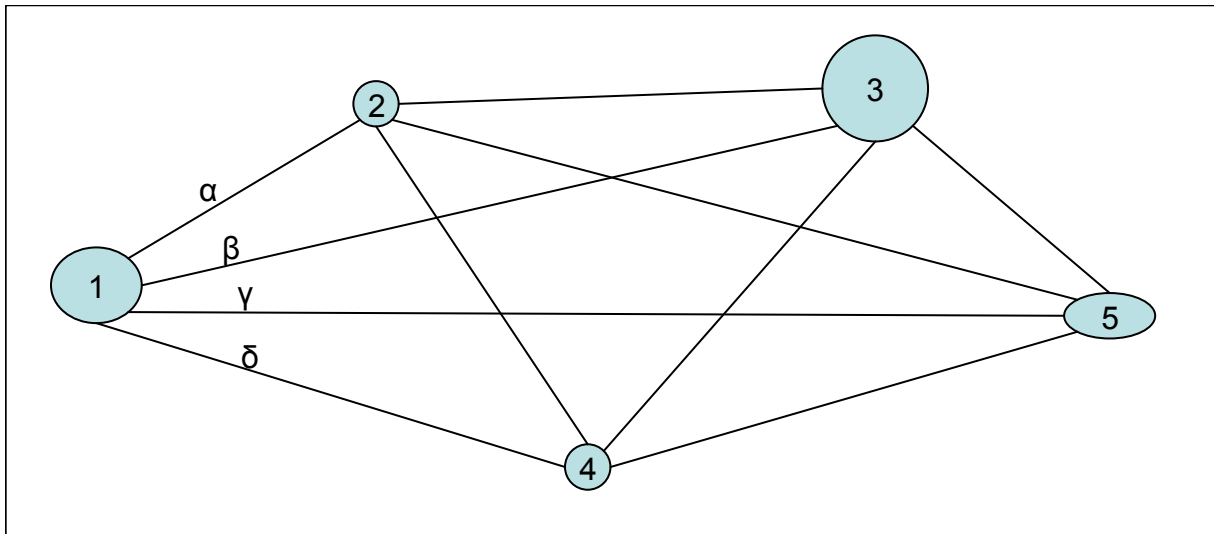
Abbildung 1-1: Das klassische 4-Stufen Modell



Quelle: Ortuzar und Willumsen (1994) S.24 und Kuchenbecker (2000) S.26

In dieser Arbeit erfolgt die Analyse anhand eines fiktiven Untersuchungsgebiets. Es besteht aus fünf Knoten und zehn Kanten. Dies bedeutet, dass jeder Knoten (=Verkehrszelle) eine Verbindung zu den vier Verbleibenden erhält. Somit ist jedes Verkehrsziel ohne Umwege über andere Zellen erreichbar. Die unterschiedliche Größenausprägung der Knoten steht für das unterschiedliche Verkehrsaufkommen der einzelnen Zonen. Dementsprechend sind Kanten eine Verbindung (z.B. eine Straße) zwischen den Verkehrszonen. Die Länge der Kanten widerspiegelt die Distanz zwischen den einzelnen Knoten. Die Beschriftung der Kanten entspricht den Widerständen, sprich dem Aufwand bei der Zurücklegung des Weges.

Abbildung 1-2: Modellgraph



Quelle: eigene Darstellung

Die Widerstände für die einzelnen Fahrten, die ein Verkehrsteilnehmer auf dem zu untersuchenden Netzwerk unternimmt, werden in einer Quelle-Ziel Matrix (im Englischen: **Origin–Destination**) dargestellt.

Abbildung 1-3: Widerstandsmatrix

OD	1	2	3	4	5
1	0	α	β	γ	δ
2	α	0	ϵ	ζ	η
3	β	ϵ	0	θ	λ
4	γ	ζ	θ	0	μ
5	δ	η	λ	μ	0

Quelle: eigene Darstellung

Es gelten folgende vereinfachte Annahmen:

1. Die Widerstände zwischen den einzelnen Verkehrsknoten werden durch griechische Buchstaben repräsentiert und in den folgenden Kapiteln quantifiziert.
2. Der Binnenverkehr ist nicht Gegenstand dieser Analyse, so dass die Widerstände für Fahrten innerhalb der Verkehrszentren null betragen.
3. Die Widerstände ergeben sich zu $\frac{2}{3}$ aus der benötigten Zeit und zu $\frac{1}{3}$ aus Kosten für die jeweilige Strecke.² Die verkehrsmittelspezifischen Kosten werden in den nachfolgenden Kapiteln explizit aufgelistet.

² eigene Annahme, vgl. hierzu z.B. Ortuzar und Willumsen (1994) S.188

4. Die Matrix ist symmetrisch, d.h. die Widerstände für eine Strecke sind in beide Fahrrichtungen gleich hoch.

In der vorliegenden Arbeit werden in jeder der vier Modellierungsstufen anhand der Dokumentation historischer Naturereignisse typische Verhaltensweisen kurz-, mittel- und langfristig nach einem Ereignis identifiziert:

- 0-4 Wochen nach Katastrophenfall (kurzfristig)
- 1-3 Monate nach Katastrophenfall (mittelfristig)
- 3-12 Monate (langfristig)

Zunächst werden die zu erwartenden Reaktionen der Verkehrsteilnehmer unmittelbar und mittelfristig nach Eintritt eines Katastrophenfalls untersucht. Treten hierbei erkennbare Veränderungen auf, wird auch der langfristige Zeitaspekt berücksichtigt, um Rückschlüsse für die Entscheidungsträger in der Verkehrsplanung ziehen zu können. Diese Unterteilung nach Zeitpunkten ist notwendig, da die Höhe des verursachten Schadens einer Katastrophe im Zeitverlauf stark variiert. Im Vordergrund steht hierbei die zentrale Fragestellung³: Inwiefern beeinflusst das veränderte Infrastrukturangebot das individuelle Verkehrsverhalten?

Zusätzlich wird in der Arbeit unterschieden, wie gravierend die physischen Schäden und damit auch die Beeinträchtigungen in einem Verkehrsnetzwerk sind. Hierfür werden vier Schadenskategorien definiert⁴:

- I. **Verheerende Katastrophe:** Mehrere Menschen kommen ums Leben. Es werden einige Kanten im Netzwerk zerstört. Der Widerstand für die jeweiligen Verbindungen ist bis zur Wiederherstellung des Betriebes unendlich hoch.
- II. **Schweres Schadenereignis:** Eine Kante im Netzwerk wird zerstört und eine zweite ist stark beschädigt. Diese beiden Verbindungen sind daher für die Dauer von drei Monaten nur eingeschränkt benutzbar. Die jeweiligen Widerstände erhöhen sich.
- III. **Mittelschweres Schadenereignis:** Ein Link im Netzwerk wird beschädigt. Die Strecke ist 14 Tage nicht befahrbar und in den folgenden vier bis sechs Monaten erhöht sich der Widerstand.
- IV. **Kleinstschadenereignis:** Es kommt zu temporären Beeinträchtigungen. Der Widerstand einer Verbindung erhöht sich für die Dauer von 14 Tagen geringfügig.

³ Giuliano und Golob (1998), S.9

⁴ Die Einteilung orientiert sich an der gängigen Praxis in der Versicherungswirtschaft. Vgl. hierzu auch: Ott (2006), S. 90 f

Abbildung 1-4 veranschaulicht die Gliederung der weiteren Vorgehensweise dieser Arbeit.

Abbildung 1-4: Vorgehensweise

Stufen	Zeithorizont	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
Verkehrsentstehung		<i>Auswirkungen der Schadensklassen I.-IV.</i>		
Verkehrsverteilung				
Modalwahl				
Routenwahl				

Quelle: eigene Darstellung

In den folgenden Kapiteln steht zunächst der Personenverkehr im Vordergrund. Der Güterverkehr wird anschließend in Kapitel 6 betrachtet. Am Ende der Arbeit werden die Ergebnisse der Untersuchung in einem Fazit und einer Übersichtstabelle zusammengefasst.

2 Verkehrsentstehung

2.1 Kurzfristige Auswirkungen

Ein Ereignis der Schadenskategorie I kann weitreichende Auswirkungen auf die Struktur der Bevölkerung und somit auch auf die Verkehrsentstehung haben. Es ist offensichtlich, dass bei Eintritt eines extremen Naturereignisses, wie beispielsweise bei Hurrikan Katrina, Tausende von Menschen gezwungen sind ihre Wohnstätten fluchtartig zu verlassen. Je nach Grad der Katastrophe sind die Menschen oftmals zunächst damit beschäftigt, sich und nach Möglichkeit ihren Besitz in Sicherheit zu bringen. Daraus folgt, dass der verantwortlichen Krisenstab im Katastrophengebiet in der Lage sein muss, den blitzartigen Anstieg in der Verkehrsentstehung zu meistern. Dies gelang im Katastrophenfall des Hurrikan Katrina überhaupt nicht. Die beklagenswerte Planung der Evakuierungsmaßnahmen, Verkehrsprobleme auf Ausreisestraßen und der Ideenmangel bei der Notversorgung sowie Unterbringung der Bevölkerung werfen daher ein schlechtes Licht auf das Krisenmanagement.⁵ Trotz ausreichender institutioneller und technischer Möglichkeiten der führenden Industrienation der Welt, sind bei Katrina mehr als 1200 Menschen in den USA gestorben. Das lokale Krisenmanagement hatte hier versagt.

Die chaotischen Zustände nach Ausbruch einer verheerenden Katastrophe auf klassische Verkehrsentstehungsmodelle zu projizieren, erscheint im kurzfristigen Zeithorizont wenig sinnvoll. Zu erwähnen bleibt in diesem Kontext die tiefgreifende Erschütterung der Bevölkerung, die eine grundlegende Änderung der Verkehrsentstehung nach sich zieht. Interessanter wird die Untersuchung des Schadenszenarios I in Verbindung mit Verkehrserzeugungsmodellen im mittel- bis langfristigen Zeithorizont, bei denen auch statistische Auswertungen dienen können.

Ein Szenario der Schadenskategorie II hätte ebenfalls großen Einfluss auf die Verkehrsentstehung. Als Beispiel hierfür dient das Northridge Erdbeben. Dieses Beben der Stärke 6.8 auf der Richterskala richtete am 17. Januar 1994 im Großraum Los Angeles schwere Schäden an. Abgesehen von Verkehrsinfrastrukturen wurden auch Häuser beschädigt. In der darauffolgenden Woche sind aus diesem Grunde viele Menschen zu Hause geblieben, um aufzuräumen und Schäden an persönlichem Eigentum zu beheben. Im Durchschnitt fehlten die Arbeitnehmer ca. 10 Tage an ihrem Arbeitsplatz.⁶ Dies führt zu der ersten Erkenntnis, dass im Zuge eines schweren Schadensereignisses das Gesamtverkehrsaufkommen im Personenverkehr eines Untersuchungsgebietes sinkt. Neben nachlassendem Berufsverkehr haben Studien gezeigt, dass Personen zunächst verstärkt

⁵ Congleton, (2006), S. 15

⁶ Gordon et al. (1998), S.32

optionale Fahrten aus Ihrem Mobilitätsverhalten streichen⁷. Dies erscheint einleuchtend, da Freizeitaktivitäten im unmittelbaren Katastrophenfall keine essentiellen Fahrten beinhalten. Weiterhin bleibt festzuhalten, dass trotz der erwähnten Beeinträchtigungen, die meisten obligatorische Fahrten zum Arbeits- oder Ausbildungsplatz von vielen Menschen auch unmittelbar nach Eintritt einer Katastrophe angetreten werden. Die Reisezeiterhöhung durch das beschädigte Verkehrsnetz führen hierbei lediglich zu einer Verschiebung der Abfahrtszeiten. Dies bedeutet, dass speziell Spitzenverkehrsaufkommen im Berufsverkehr abnehmen. Es entsteht weniger Verkehr und dieser ist auch noch stärker über den Tagesverlauf verstreut.

Schadensfall III. hat unmittelbare Auswirkungen auf die Verkehrsentstehung. Ein Beispiel ist der Orkan Kyrill, der am 18. und 19. Januar 2007 zu erheblichen Beeinträchtigungen im Verkehrssektor in weiten Teilen Europas führte. Die Klassifizierung lediglich als mittelschweres Schadensereignis beruht hierbei auf dem Fokus des kurzfristigen Zeitaspektes. Kyrill forderte 34 Todesopfer und verursachte allein in Deutschland Schäden in Höhe von mindestens 8 Milliarden Euro⁸. Zum ersten Mal in der Geschichte der Deutschen Bahn wurde auf dem gesamten Streckennetz der Fernverkehr eingestellt. Wie viele Reisende von den Störungen betroffen waren, ist unklar. Im Fernverkehr gibt es nach Angaben der Bahn pro Tag durchschnittlich 320.000 Fahrgäste, im Regionalverkehr sind es mehrere Millionen.⁹ Hinzu kam der Ausfall von zahlreichen Flügen an den Flughäfen London-Heathrow und Frankfurt am Main, so dass in der Gesamtheit hunderttausende Reisende von dem Orkan betroffen waren. Des Weiteren fiel in einigen Gegenden Deutschlands am darauffolgenden Tag der Schulunterricht aus. Dies bedeutet, dass Menschen sogar obligatorische Fahrten aus sicherheitsbedingten Gründen gemieden haben. Ferner liegt die Vermutung nahe, dass ebenfalls auf eine beträchtliche Anzahl von optionalen Fahrten, wie etwa Freizeitaktivitäten, verzichtet wurde.

Aus den gegebenen Umständen gilt für den konkreten Katastrophenfall, dass das Gesamtverkehrsaufkommen für die Bundesrepublik mindestens zwei Tage deutlich unter dem normalen Niveau lag.

Kleinstschadenereignisse (Schadenskategorie IV) treten gewiss am häufigsten auf und haben nur bedingt Einfluss auf die Verkehrsentstehung. Hierfür lassen sich zahlreiche Beispiele finden, von denen an dieser Stelle ein Erdbeben betrachtet werden soll. In den Schweizer Alpen sind im Zuge des Auftauens der Permafrostböden in den letzten Jahren immer wieder Erdbeben entstanden. Zu den zahlreichen verschütteten Straßen zählt die Autobahn A2. Dort kamen am 31. Mai 2006 zwei Menschen in ihrem Auto ums Leben, als

⁷ vgl. Giuliano und Golob (1998), S.3

⁸ vgl. http://www.munichre.com/de/press/press_releases/2007/2007_01_26_press_release.aspx [Stand 11.07.07]

⁹ vgl. Deutsche Bahn AG, (2007) S.9

ein tonnenschwerer Felsbrocken auf die Fahrbahn stürzte und Fahrzeug samt Insassen unter sich begrub. Die beliebte Urlaubsrouten A2 samt dem Gotthard-Tunnel war für einige Zeit gesperrt. Anschließend wurde die Autobahn kurzzeitig wieder für den Verkehr freigegeben, aber nach weiteren kleineren Felsabgängen erneut gesperrt. Schließlich konnte die ständige Erdbeergefahr nur durch eine Sprengung der gefährlichen Felsmassen überwunden werden¹⁰. Solche temporäre Einschränkungen im Straßenverkehr lassen sich kaum auf Verkehrsentstehungsmodelle projizieren, da anzunehmen ist, dass trotz der Widerstandserhöhung bestimmter Strecken, sowohl im Berufs- als auch im Freizeitverkehr keine Fahrten unterlassen bzw. zusätzlich unternommen werden.

2.2 Mittelfristige Auswirkungen

Zwei Monate nach dem Hurrikan Katrina war ein Rückgang der Beschäftigungsverhältnisse in Louisiana um ca. 240.000 festzustellen.¹¹ Bereits im September 2005 stieg die Arbeitslosenquote dementsprechend von 6,0 auf 11,4 Prozentpunkte an. Hinzu kommt, dass Menschen Louisiana verließen, um in benachbarten Bundesstaaten, wie etwa Texas, oder Florida, eine neue Anstellung zu finden. Das Regressionsmodell der Verkehrsentstehung identifiziert Bevölkerungsdichte, Anzahl der Beschäftigten und Einkommensniveau als wesentliche Strukturgrößen einer Region. Zusammenfassend lassen sich folgende veränderte Strukturgrößen zweifelsfrei ableiten:

- Bevölkerungsdichte → Menschen fliehen
- Beschäftigte → Arbeitslosenquote steigt
- Motorisierungsgrad → Automobile werden zerstört
- Infrastrukturausstattung → Straßen, Brücken, Schienen, etc. werden zerstört
- Regionalmerkmale → Attraktivität der Region sinkt

Daraus folgt, dass der Quellverkehr aus und der Zielverkehr nach Louisiana sinken. Hingegen steigt mittelfristig die Attraktivität der anderen Verkehrszentren des Netzwerkes. Diese bieten weiterhin eine intakte Infrastruktur an. Wird der konkrete Fall Hurrikan Katrina auf den Untersuchungsgraphen übertragen und Knoten 1 beispielsweise mit New Orleans belegt, dann gilt:

$$Q_1 \text{ nach Kat.} < Q_1 \text{ vor Kat.}$$

Der Quellverkehr eines erschütterten Verkehrsbezirkes nimmt demzufolge ab.

Die Studien, die das *Journal of Transportation and Statistics* als Folge des Northridge Erdbebens veröffentlichte, dokumentieren eine schnelle Wiederherstellung von Transport-

¹⁰ <http://www.news.ch/Gotthard+Autobahn+fuer+Wochen+gesperrt/243339/detail.htm> [Stand 11.07.07]

¹¹ vgl. Brown et al. (2006)

kapazitäten und somit auch ein ausgezeichnetes Katastrophenmanagement. Nach der zunächst deutlichen Abnahme des Gesamtverkehrsaufkommens eines Untersuchungskorridors um nahezu 60 Prozent im Katastrophenmonat, konnte im darauffolgenden Monat bereits eine Erholung auf 88 Prozent des Ausgangsniveaus festgestellt werden.¹² Im zweiten Monat nach Eintritt der Katastrophe betrug die Abweichung zum Vorjahr nur noch vier Prozent. An dieser Stelle muss erneut eine Differenzierung nach Berufsverkehr und optionalen Fahrten vorgenommen werden. Die Gutachten von Gordon haben ergeben, dass mehr als $\frac{2}{3}$ der Betroffenen ihr Verkehrsverhalten in Bezug auf Einkaufs- und Freizeitfahrten veränderten. Demzufolge ist generell mit einer Reduktion des Gesamtverkehrsaufkommens zu rechnen, da die Mehrheit der Verkehrsteilnehmer im Anschluss an eine Katastrophe weniger optionale Fahrten unternimmt. Diese Veränderungen sind jedoch kaum überregional analysierbar, da sich Abweichungen in der Regel zumeist durch die Schließung bestimmter Institutionen, wie etwa größerer Einkaufszentren auf lokaler Ebene ergeben.¹³ Demzufolge können mittelfristige Auswirkungen auf die Verkehrsentstehung immer dort beobachtet werden, wo auch die meisten Infrastrukturobjekte stark beschädigt oder gar zerstört wurden sind.

Es sei in diesem Zusammenhang auf die Schwierigkeiten bei der wissenschaftlichen Datenanalyse hingewiesen. Ein Vergleich der Daten vor Eintritt einer Katastrophe mit den Daten der ersten Monate nach der Katastrophe ist oftmals nicht möglich. Zumeist liegen den Verkehrsexperten einerseits nur spärliche Verkehrsdaten aus Erhebungen vor Katastropheneintritt vor. Neben dieser fehlenden Datengrundlage stellen die sich ständig ändernden Reisebedingungen im Anschluss an eine Katastrophe (mehr Personen gehen wieder zur Schule/Arbeit; Versorgungslinien sind repariert) keine konstante Datenbasis dar. Der Verkehr müsste theoretisch jeden Tag neu erhoben werden, was sehr aufwendig wäre. Aufgrund dessen ist die Analyse des Verkehrsaufkommens mit erheblichen Hindernissen behaftet.

Die Schadenskategorien III und IV führen auf mittelfristige Sicht zu keinen spürbaren Veränderungen in der Verkehrsentstehung. Die Auswirkungen eines Sturms (Orkan Kyrill) oder eines Erdbebens (Schweizer Alpen) auf den Verkehr können in der Regel in den ersten Wochen nach Schadenseintritt behoben werden. Dies bedeutet konkret, dass das Angebot an Verkehrsinfrastruktur von einem mittelschweren Naturereignis relativ unverändert bleibt. Sinkt dennoch die Attraktivität einer besonders gefährdeten Region, so sind einzelne sicherheitsbedingte Verhaltensänderungen im Aggregat vernachlässigbar.

¹² vgl. Giuliano und Golob (1998), S.12

¹³ vgl. Gordon et al. (1998), S.33 f

2.3 Langfristige Auswirkungen

Die Untersuchung der langfristigen Auswirkungen von Naturgefahren auf die Verkehrsentsstehung sind für die Verkehrsplaner sicherlich die bedeutungsvollsten. Derartige Langzeitstudien sind bisher kaum durchgeführt wurden. Im Falle von Hurrikan Katrina lassen sich dennoch einige Beobachtungen ableiten. Allgemein ist festzustellen, dass nach verheerenden Katastrophen häufig seelische Erschütterungen bei Menschen zurückbleiben. Das Trauma, vor einem Hurrikan aus seinem eigenen Heim flüchten zu müssen, veranlasst viele Menschen nicht mehr in ihre einstigen Wohnungen zurückzukehren. So sind von den Evakuierten rund um die Katastrophenregion von New Orleans nur sechs von zehn Menschen in ihre ehemaligen Domizile zurückgekehrt. Weitere Gründe hierfür sind, dass viele Häuser komplett zerstört wurden und eine Rückkehr daher nahezu unmöglich war. Ferner sind viele Menschen dort nach wie vor arbeitslos.

Hingegen haben Studien gezeigt, dass die Arbeitslosenquote in Louisiana bereits im Januar 2006 – also vier Monate nach dem Katastrophenfall – auf das Vorjahrsniveau von 5,5 Prozent sank.¹⁴ Dies gilt allerdings für den gesamten Bundesstaat. Bei näherer Betrachtung der Beschäftigungsverhältnisse fällt auf, dass keine zusätzlichen Anstellungen geschaffen wurden, sondern der Rückgang der Arbeitslosenquote eher durch den Umzug der Bevölkerung in andere Bundesstaaten zu erklären ist. Das Niveau der Beschäftigten blieb in Louisiana demzufolge konstant. Interessanterweise nehmen Arbeitnehmer offensichtlich auch niedrigere Einkommen beispielsweise in Texas in Kauf, um einen Neuanfang in einem weniger gefährdeten Gebiet zu bewirken.¹⁵

Dies erlaubt wiederum Rückschlüsse auf das Verkehrsniveau. Unabhängig von weiteren maßgebenden Strukturgrößen kann behauptet werden, dass eine verheerende Katastrophe massive Auswirkungen auf die Struktur der Bevölkerung und dementsprechend auch auf die Verkehrsentsstehung hat.

In diesem Kontext sollte nicht unerwähnt bleiben, dass an den Küsten der Golfregion speziell das Risiko einer Sturmflut keine unbekannte Tatsache darstellt. Meteorologen beobachten unentwegt die hydrologischen und klimatischen Bedingungen der Region, so dass eine präzise Vorhersage des Eintreffens eines Hurrikans möglich ist. Trotz Vorhersage und Frühwarnmöglichkeiten demonstrierte das Ereignis in New Orleans eindrücklich die Verwundbarkeit unserer Gesellschaft. Die nachhaltigen Auswirkungen der Katastrophe haben sich in den USA auf zwei bis drei Bundesstaaten beschränkt. Die Gesamtwirtschaft des wirtschaftsstärksten Landes der Erde wurde dabei nur unwesentlich in Mitleidenschaft gezogen, so dass sich im Aggregat kaum Veränderungen in der Struktur der Bevölkerung und somit auch im Gesamtverkehrsaufkommen ergaben. Ähnlich verhielt es sich bei dem

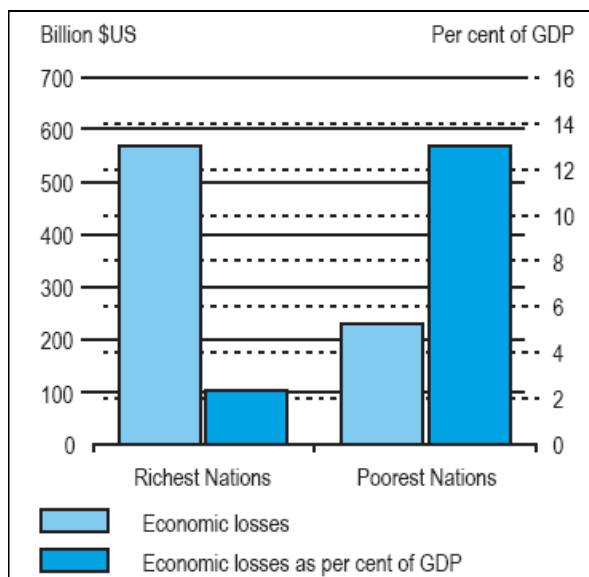
¹⁴ vgl. Brown et al. (2006), S.68

¹⁵ Clayton und Spletzer (2006), S.20 f

Northridge Erdbeben, bei dem innerhalb von wenigen Wochen die wichtigsten Verkehrsverbindungen im Großraum Los Angeles wieder hergestellt und so langfristig keine Auswirkungen auf die Verkehrsentstehung zu beobachten waren.

Schlimmer trifft es zumeist ärmere Volkswirtschaften. Ecuador wurde beispielsweise 1987 und 1999 von großen Naturkatastrophen erschüttert, woraufhin das BIP in diesen Jahren, statt dem gewohnten durchschnittlichen Wachstum von vier Prozent, um sieben Prozent fiel.¹⁶ Des Weiteren hat ein Vergleich des ISDR ergeben, dass ein geringerer ökonomischer Schaden verursacht durch eine Naturkatastrophe in den Entwicklungsländern eine deutlich größere Auswirkung auf das BIP hat, als in den Industriestaaten. Abbildung 2-1 zeigt diesen Sachverhalt für die kumulierten Jahre 1984-1999.

Abbildung 2-1: Anteil der Schäden am BIP



Quelle: United Nations ISDR (2004), S.25

Es wird deutlich, dass die ärmeren Nationen nicht über die institutionellen und organisatorischen Mittel verfügen, um den langfristigen Auswirkungen von Naturgefahren ausreichend Widerstand zu leisten. Dazu zählt einerseits die Wiederherstellung der kritischen Verkehrsinfrastruktur, die die Mobilität der betroffenen Volkswirtschaft sichert. Andererseits können die kostspieligen präventiven Schutzmaßnahmen auch nur äußerst selten ergriffen werden, um einer Naturkatastrophe zu begegnen. Hier ist internationale Hilfe von übergeordneter Bedeutung. Ein entsprechendes Beispiel ist die Tsunami Katastrophe im Indischen Ozean Ende des Jahres 2004, in dessen Zuge ein Frühwarnsystem für die betroffenen Regionen von internationalen Wissenschaftlern entwickelt und im gefährdeten Gebiet implementiert wurde.

¹⁶ United Nations ISDR (2004), S.24

3 Verkehrsverteilung

3.1 Kurzfristige Auswirkungen

Für den Katastrophenfall Hurrikan *Katrina* gelten für die Verkehrsverteilung ähnliche Annahmen wie für die Verkehrsentscheidung. Bei Eintritt des Schadenfalls I. sind die Ziele, die die flüchtenden Menschen wählen, zunächst sekundär. Es gilt, den am meisten betroffenen Knoten eines Netzwerkes aus sicherheitsbedingten Gründen zu verlassen, primär hin zum nächstgelegenen „intakten“ Knoten. Lediglich die Benutzbarkeit von Ausfallstraßen und die Verfügbarkeit von Transportmitteln spielt bei der Verkehrsverteilung noch eine Rolle. Wird demzufolge der kurzfristig steigende Quellverkehr von New Orleans auf den Raum verteilt, so ergeben sich gravierende Änderungen. Die Modellierung einer derart zerrütteten Verkehrssituation erscheint jedoch wenig sinnvoll. In diesem konkreten Fall wird die Zielwahl nicht durch die Anziehungskräfte zwischen zwei Regionen und deren Widerstände beeinflusst, sondern eher durch die verfügbaren Informationen über die aktuelle Gefährdungssituation und eventuelle Evakuierungsmöglichkeiten. Die sich ständig ändernden Bedingungen des Versorgungs- und Verkehrsangebotes in dem ersten Monat nach Eintritt einer verheerenden Katastrophe, machen eine Analyse des Verkehrsverhaltens einzelner Individuen sehr schwierig.

Signifikante Veränderungen in der Verkehrsverteilung lassen sich dank umfangreicher Studien bei dem *Erdbeben von Northridge* beobachten. Die triviale Annahme, dass Fahrten ins Katastrophenzentrum weitestgehend gemieden werden, wird hier bestätigt. Für die ersten Wochen nach Katastropheneintritt ist festzustellen, dass große Job- und Einkaufszentren, Schul- und Universitätseinrichtungen nahe dem Epizentrum des Bebens zunächst geschlossen blieben. Folglich waren diese auch kaum noch Ziele der gewöhnlichen Verkehrsteilnehmer, so dass sich in der Verkehrsverteilung temporär massive Veränderungen ergaben. Signifikanterweise konnte in diesem Zusammenhang festgestellt werden, dass Schäden am Arbeits- bzw. Wohnort hauptverantwortlich dafür waren, dass Beschäftigte zu Hause blieben, und nicht wie vielleicht anzunehmen, Schäden an der Pendlerstrecke.¹⁷ Neben unterlassenen Fahrten sind hierbei wiederum auch zusätzliche Fahrten entstanden, da Katastrophenteams und Hilfswerke sowie in der Folge ebenfalls Aufräumdienste und Versicherungsangestellte zur Bewertung und Beseitigung der entstandenen Schäden direkt ins Katastrophenzentrum vorstoßen müssen.

Allgemein gilt jedoch: Verlängert sich die Reisezeit zwischen zwei Verkehrszellen drastisch, ist ein Großteil der Verkehrsteilnehmer nicht bereit, sein tägliches Mobilitätsbudget derart aufzustocken, um diesen Aufwand zu überwinden. Als Folge sind neben dem Berufsverkehr

¹⁷ vgl. Gordon et al. (1998), S.35

insbesondere der Besorgungs- und Freizeitverkehr betroffen. Es fällt offensichtlich leicht, Zielgebiete zu ändern bzw. Fahrten gänzlich zu unterlassen.

Hierbei wird erneut der enge Zusammenhang zwischen Verkehrsverteilung und –entstehung deutlich. Das Problem in der Analyse der Verkehrsverteilung besteht darin, die Verkehrsströme zwischen zwei Knoten fehlerfrei zu erfassen. Eine umfassende Verkehrserhebung auf allen Kanten des zu untersuchenden Netzwerkes ist meistens zu aufwändig und kostspielig. Oftmals bleibt eine Quelle-Zielbindung im Katastrophenfall bestehen und lediglich die Verkehrsumlegung ändert sich aufgrund der erhöhten routenspezifischen Widerstände. Dies ist jedoch nicht immer offensichtlich, so dass die Art des eintreffenden Verkehrs (z.B. Durchgangsverkehr) exakt bestimmt werden muss, um falsche Annahmen über die Zielwahl von Verkehrsteilnehmern auszuschließen. Als Resultat ist die Verkehrsverteilung immer in Verbindung mit einer flexiblen Streckenwahl zu betrachten.

Kleinstschadenereignisse nehmen nur sehr bedingt Einfluss auf die Verkehrsverteilung. Die Sperrung einer Straße in den Schweizer Alpen aufgrund eines Erdbebens hat keine fundamentalen Auswirkungen auf die Zielwahl der betroffenen Verkehrsteilnehmer. Es ist anzunehmen, dass wie bei anderen Naturgefahren, enorme Reisezeiterhöhung auf einzelnen Strecken dazu führen können, dass optionale Fahrten geändert oder kurzfristig gestrichen werden. So wird ein Einkaufszentrum, welches für eine gewisse Dauer schwer zu erreichen ist, sicherlich Verkaufseinbußen hinnehmen müssen. Da dies in der Regel jedoch keine überregionale Bedeutung hat, ist auch in diesem Falle eine Analyse mittels bestehender Verkehrsverteilungsmodelle wenig sinnvoll.

3.2 Mittelfristige Auswirkungen

Die mittelfristigen Auswirkungen im betroffenen Gebiet des Hurrikans Katrina lassen sich auf das gegebene Netzwerk projizieren. Wird Knoten 1 mit New Orleans belegt und der Link zu Knoten 2 wurde zerstört, so steigt der Widerstand l_{12} für diese Verbindung. Dementsprechend sinkt der Verkehrsfluss v_{12} , da der Link im Netzwerk nicht benutzt werden kann und somit der Aufwand l_{12} von Q_1 nach Z_2 deutlich steigt. Auf das Gravitationsmodell der Verkehrsverteilung bezogen, drückt sich dieser Sachverhalt in folgender Formel aus:

$$v_{12} = \frac{Q_1 * Z_2}{l_{12}^\alpha} * k_1 * k_2$$

v_{ij} Verkehrsmenge zwischen i und j

Q_i Quellverkehrsaufkommen des Verkehrsbezirks i

Z_j Zielverkehrsaufkommen des Verkehrsbezirks j

I_{ij} Aufwand zwischen den Verkehrsbezirken i und j

k_i, k_j Konstantenpaar zum Abgleich der Randsummenbedingungen bei gegebenen Quell-/Zielaufkommen

α Parameter zur Bewertung des Aufwandes

Die mittelfristigen Veränderungen in der Verkehrsverteilung im Zuge des Northridge Erdbebens haben Giuliano & Golob in speziellem Maße für zwei beschädigte Highways untersucht.¹⁸ Dabei handelt es sich einerseits um den Golden State Freeway, der als eine wesentliche Hauptroute den Großraum Los Angeles mit Nord und Südkalifornien verbindet. Aufgrund der überregionalen Bedeutung dieses Highways wurde unmittelbar nach Katastropheneintritt die Entscheidung getroffen, sämtliche Schäden an der Strecke und auf den Zubringern umgehend zu reparieren, auch wenn offensichtlich war, dass dies einige Monate in Anspruch nehmen würde. So gelang es durch zahlreiche Umleitungen und kurzfristigen Kapazitätsverbesserungen bereits nach zwei Wochen, das Verkehrsaufkommen im betroffenen Korridor wieder auf 70 Prozent des Vorjahresniveaus zu heben. In den Monaten eins bis drei nach Katastropheneintritt betrug die Abweichung schließlich durchschnittlich nur noch ca. zehn Prozent.

Der Santa Monica Freeway hatte ebenfalls gewaltige Schäden zu verzeichnen. Er verbindet das Zentrum Los Angeles mit den westlich gelegenen Städten, wie etwa Santa Monica und Beverly Hills, und ist zudem als meistbenutzte Straße der Welt bekannt. Dieser Korridor vereinigt die größte Arbeits- und Bevölkerungskonzentration der Region und zählt daher mehr als 400.000 Autos pro Tag. Durch aufwendige Reparaturarbeiten gelang es, den Highway knapp drei Monate nach Katastropheneintritt wieder zu eröffnen. Die zwischenzeitlichen Umleitungsmaßnahmen werden in Kapitel 5.5 beschrieben.

Ein interessanter Aspekt taucht bei der Analyse des Pendelverkehrs auf den beschädigten Kanten des konkreten Netzwerkes auf. Es wurden hierfür 1000 Beschäftigte im Februar 1994 befragt. Die Auswertungen der Antworten ergaben, dass ca. fünf Prozent der Pendler ihren Arbeits- bzw. Wohnort änderten.¹⁹ Diese besondere Flexibilität hat Auswirkungen auf Quell- und Zielverkehrsaufkommen der betroffenen Verkehrsknoten des Untersuchungsgebietes. Als Folge ist neben dem Besorgungs- und Freizeitverkehr, bei dem es bekanntlich leicht fällt Zielgebiete zu ändern, auch der Berufsverkehr von quantifizierbaren Änderungen in der Verkehrsverteilung der einzelnen Beschäftigten betroffen.

Für Schadensfall III. und IV. liegen im mittel- bis langfristigen Zeithorizont für die Verkehrsverteilung keine Studien von gravierenden Verhaltensänderungen der betroffenen

¹⁸ vgl. Giuliano und Golob (1998), S.3 ff

¹⁹ Giuliano und Golob (1998), S.13

Verkehrsteilnehmer vor. Die Verkehrsplaner müssen sich in diesem Zusammenhang vielmehr den allgemein gültigen Verfahren der Risikoanalyse stellen. So wird jede Maßnahme, die dem Schutz der Verkehrsinfrastruktur dient, zunächst aus finanziellen Gesichtspunkten betrachtet. Einen Erdbeben zu verhindern, der eine Straße in den Schweizer Alpen verschüttet, kostet Geld und wird daher im Kontext des etwaigen Ausfalls dieser Lifeline gesehen. Dabei steht die überregionalen Bedeutung sowie die externen Kosten²⁰ im Mittelpunkt der monetären Analyse.

Ebenso verhält es sich mit präventiven Maßnahmen zum dauerhaften Schutz vor Stürmen (→ Orkan Kyrill), Fluten (Elb-, Rheinhochwasser) und weiteren zutreffenden Naturgefahren. Im Endeffekt wird dadurch auch die Prognosefähigkeit der Verkehrsverteilung erhöht, jedoch scheint eine differenzierte Betrachtung bzw. Modellierung in diesem Zusammenhang nur sehr bedingt zweckmäßig.

3.3 Langfristige Auswirkungen

Um langfristige Verhaltensänderungen von Verkehrsteilnehmern untersuchen zu können, ist es nötig, sich noch einmal die wichtigsten Erkenntnisse der Risikoanalyse vor Augen zu führen. Dabei ist im Hinblick auf die Verkehrsverteilung die Regenerationsfähigkeit, d.h. die Wiederherstellungsdauer bis zur Ausgangskapazität beispielsweise einer Hauptstraße, von zentralem Interesse. Es gilt, viel befahrene Kanten in einem Netzwerk mit allen Mitteln der Katastrophenvorsorge zu schützen, um so die Robustheit des Gesamtsystems zu erhöhen. Dieser Sachverhalt schärft sich bei den Entscheidungsträgern der Verkehrsplanung bedauerlicherweise zumeist erst nach Eintritt einer Katastrophe ein. Dementsprechend sind die Studien, die im Falle von Hurrikan Katrina gemacht wurden, hauptsächlich Fehleranalysen im Krisenmanagement. Es wird dabei aufgedeckt, dass trotz hinlänglicher Bekanntheit des Risikos einer gewaltigen Sturmflut, eine Reihe von Versäumnissen von Seiten der Offiziellen im Vorfeld der Katastrophe begangen wurde. Des Weiteren waren die Zerstörungen derart grundlegend, dass konkrete Untersuchungsansätze des erschütterten Verkehrsinfrastrukturnetzwerkes enormen Aufwand bedeuten würden und daher umfangreiche Studien schwer durchführbar sind.

Die enge Verknüpfung zwischen Verkehrsentstehung und Zielwahl erlaubt es die gewonnenen Erkenntnisse über das Verkehrsaufkommen auf die Verkehrsverteilung zu übertragen. Es ist offensichtlich, dass der dauerhafte Ausfall hoch frequentierter Verbindungen im Anschluss an eine verheerende Katastrophe langfristig dazu führt, dass Arbeitnehmer wegziehen und dementsprechend sich Quell- und Zielverkehre in dem betroffenen Untersuchungsgebiet verändern.

²⁰ Kosten, die von der Allgemeinheit getragen werden wie z.B. Straßeninstandhaltung und Folgekosten von Abgas- und Lärmemissionen

Eine allgemein gültige Aussage über die individuellen Verhaltensweisen der betroffenen Bewohner fällt in diesem Zusammenhang schwer, denn hierzu müsste eine Reihe von Randbedingungen in die Analyse mit einfließen. Dazu gehören neben den bereits erwähnten sozioökonomischen und demographischen Faktoren (z.B. Einkommen, Haushaltstruktur, Familiengröße, PKW-Verfügbarkeit) auch soziokulturelle Unterschiede. So spielen Werte und Normen einer Gesellschaft eine entscheidende Rolle im Umgang mit Katastrophen insbesondere im langfristigen Zeithorizont. Die Bereitschaft beispielsweise seinen Arbeits- bzw. Wohnort zu wechseln, ist in Teilen Europas nicht so stark ausgeprägt wie in den USA. Dieser Grad an Flexibilität erlaubt es, Rückschlüsse auf die langfristig zu erwartende Verkehrsverteilung zu ziehen.

Bei dem Erdbeben von Northridge konnten keine bedeutenden langfristigen Auswirkungen in der Verkehrsverteilung festgestellt werden. Dies hat seine Ursache vorwiegend in der begrenzten Zerstörung der vorhandenen Highways.²¹ Nachdem bereits drei Monaten nach dem Beben kaum Verkehrsaufkommensänderungen zum Vorjahr beobachtet werden konnten, sind zehn Monate danach auch alle wichtigen Zubringer und Verbindungsstraßen wiedereröffnet worden. Damit liegt der Verkehrsverteilung dasselbe Infrastrukturnetz wie vor Katastropheneintritt zugrunde. Inwiefern hierbei die bereits mittelfristig getätigten Wohn- und Arbeitsortwechsel der Pendler langfristig beibehalten wurden, obliegt der Spekulation.

²¹ vgl. Gordon et al. (1998) , S.35

4 Modalwahl

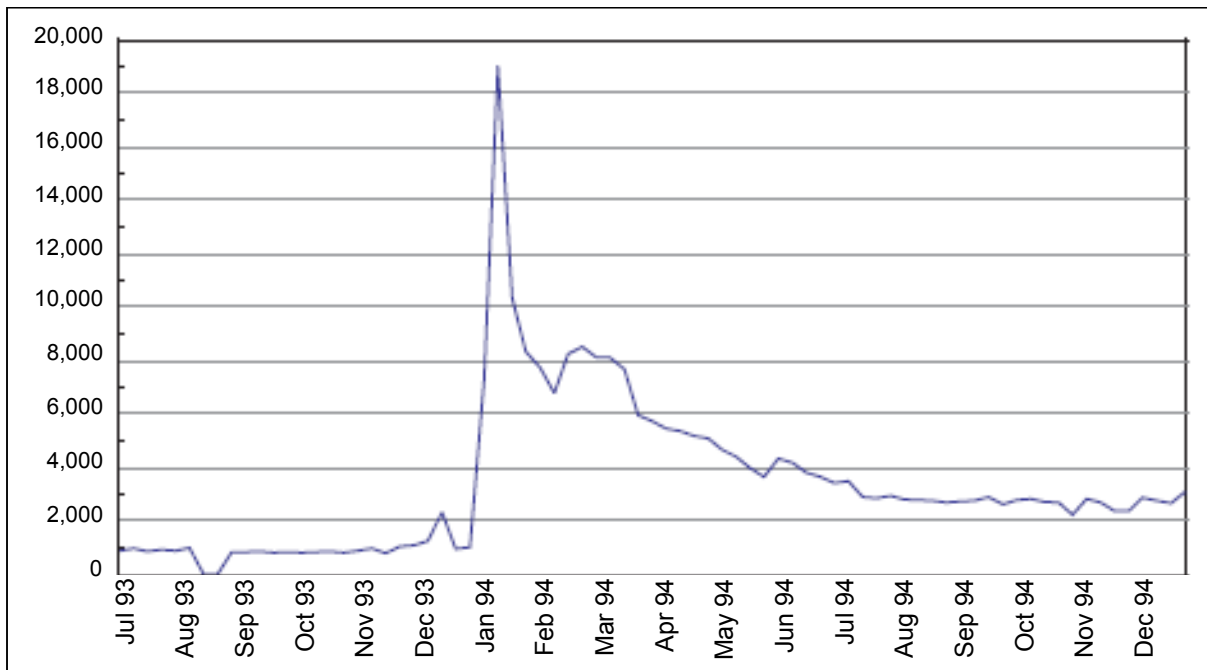
4.1 Kurzfristige Auswirkungen

Die zerstörerische Kraft eines Naturereignisses hinterlässt in der Regel ein zerrüttetes Verkehrsmittelangebot. Die Modalwahl ist im betroffenen Gebiet weitestgehend eingeschränkt und richtet sich demzufolge nach der jeweiligen Verfügbarkeit. Sind Menschen auf der Flucht vor einer Naturkatastrophe stellt sich kaum die Frage, ob sie dies zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit dem Auto unternehmen, sondern vielmehr, ob überhaupt alle verfügbaren Verkehrsmittelressourcen zur Evakuierung ausgeschöpft werden können. Hierbei stehen die Informationspolitik des Krisenstabes und die Zuverlässigkeit assistierender Versorgungslinien im Mittelpunkt. Es muss gewährleistet sein, dass möglichst alle Bewohner eines Katastrophengebietes die Möglichkeit erhalten, sich in Sicherheit zu bringen.

Die Auswirkungen eines schweren Schadenereignisses möglichst rasch zu beheben, fällt in den Industriestaaten in den Aufgabenbereich des verantwortlichen Verkehrsamtes. Dabei sind die Besonderheiten des beschädigten Verkehrsinfrastrukturnetzes zu beachten und in speziellem Maße Kapazitätserweiterungen mit Blick auf die Berufspendler zu schaffen. Bei dem Erdbeben von Northridge gelang es, teilweise das ÖV-Angebot so zu erweitern, dass bestimmten Pendlern die Möglichkeit des modalen Wechsels gegeben war.²² Dies geschah in erster Linie aus dem Aspekt, dass in den beschädigten Highway Bereichen kaum parallele Straßen verfügbar waren. Konkret wurden innerhalb der ersten zwei Wochen Streckenerweiterungen sowie die Aufnahme von zusätzlichen Haltestationen im Regionalverkehr der Bahn geschaffen. Hinzu kamen Bus-Shuttles als Express Service und Bahnzubringer. In Verbindung mit einer umfangreichen öffentlichen Informationskampagne ergaben sich dadurch kurzfristig enorme Zuwächse in der ÖV-Nutzung. Der Santa Clarita Metrolink beförderte beispielsweise 19 Mal so viele Passagiere in der ersten Woche nach Eintritt der Katastrophe wie normalerweise und verzeichnete somit einen einmaligen Beförderungsrekord von über 19.000 Passagieren pro Woche. Den Verlauf der Metrolink-Benutzung zeigt Abbildung 4-1 auf.

²² vgl. Giuliano und Golob (1998) S.4 ff

Abbildung 4-1: Wöchentliche Beförderungszahlen Metrolink



Quelle: Giuliano und Golob (1998), S.15

Es wurde auch deutlich, dass die zerrütteten Verkehrsverhältnisse im unmittelbaren Katastrophenfall auch eine Chance bieten, eingespielte Verhaltensweisen in der Modalwahl zu ändern und die verkehrsmittelspezifischen Vorteile aufzuzeigen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Modalwahl von Pendlern im unmittelbaren Katastrophenfall ist zweifelsohne die Distanz zum Arbeitsplatz. Der Wechsel vom motorisierten Individualverkehr (MIV) zum nicht motorisierten Individualverkehr ist nur möglich, wenn das Ziel in einer angemessenen Zeit erreicht werden kann. Diese Variante entfällt im Großraum Los Angeles weitestgehend. Bei dem Erdbeben von Kobe in Japan - exakt ein Jahr nach Northridge - konnte hingegen beobachtet werden, dass in den ersten Wochen nach der Katastrophe ein großer Anteil der alltäglichen ÖV Benutzer zu Fuß oder per Fahrrad zur Arbeit pendelte.²³ Dies liegt in der kürzeren Entfernung zum Arbeitsplatz begründet. Außerdem spielt der kulturelle Hintergrund eine Rolle, da die Benutzung des Fahrrads in den USA allgemein nicht sehr verbreitet ist.

Bei einem mittelschweren Schadensereignis stehen im unmittelbaren Katastrophenfall Sicherheitsaspekte im Vordergrund. Dies betrifft neben den kurzfristig gravierenden Änderungen in der Verkehrsentstehung und -verteilung auch die Verkehrsmittelwahl, so dass die gängigen Einflussfaktoren bei der Wahl der zur Verfügung stehenden Alternativen nicht anwendbar sind. Eine explizite Analyse stellt sich daher als äußerst problematisch dar, da z.B. der Orkan Kyrill flächendeckend wütete und nur die Betrachtung einzelner Kantenn

²³ Gordon et al. (1998), S.34

Frage kommt. Hierfür fehlt jedoch eine detaillierte Datengrundlage. Es ist allenfalls davon auszugehen, dass sich die temporären Veränderungen in der Modalwahl nur sehr begrenzt ergeben. Die Hauptursache liegt in den üblichen Routinen verwurzelt. So ist beispielsweise die Entscheidung, das Auto anstelle des Fahrrades für die Zielerreichung zu verwenden, eher auf allgemeine Schlechtwetter-Situationen zurückzuführen, denn auf eine explizite Reaktion auf einen gewaltigen Sturm. Des Weiteren ist es nur vernünftig, längere Strecken nicht zu Fuß zurückzulegen, um sich einer wahrnehmbaren Gefahr nicht vorsätzlich auszusetzen. Die Alternative NMV scheidet daher im unmittelbaren Katastrophenfall für den Großteil der anzutretenden Fahrten weitestgehend aus.

4.2 Mittelfristige Auswirkungen

Die mittelfristigen Auswirkungen in der veränderten Modalwahl lassen sich durch konkrete Verkehrsstudien am besten durch die Folgen des Northridge Erdbebens untersuchen. Dieses Schadenereignis erlaubt es, die gewonnen Erkenntnisse anschließend einerseits auf verheerende Katastrophen sowie auf kleinere Schadenereignisse im Verkehrsinfrastrukturbereich zu übertragen.

Von besonderem Interesse sind die Verschiebungen, die sich mittelfristig zwischen ÖV und MIV ergeben. In diesem Zusammenhang werden auch die Anreize Erwähnung finden, mit denen versucht wurde, Anteile des ÖV speziell am Pendlerverkehr langfristig zu gewinnen.

Zunächst ist festzustellen, dass die kurzfristig massiven Beförderungszuwächse des Metrolink im Großraum Los Angeles mittelfristig nicht gehalten werden konnten. Dies hat im Wesentlichen zwei Gründe:²⁴

1. Die blitzartig auftretende Nachfrage überstieg die Systemkapazitäten.

In den Medien wurden die assoziierten Probleme handfest verbreitet. Hierzu zählen in besonderem Maße die Knappheit an Parkplätzen an den Stationen, die Überfüllung der Züge und die Vielzahl an drastischen Verspätungen, die Zugreisende durch die heftigen Nachbeben im Verlaufe der ersten beiden Wochen nach dem Erdbeben in Kauf nehmen mussten. Als Folge wurden viele Pendler entmutigt mittelfristig auf Metrolink umzusteigen.

2. Metrolink war in relativ wenigen Geschäftsvierteln zugänglich.

Trotz des Verbindungsausbaus liegt hierbei das Problem in der dezentralisierten urbanen Charakteristik des Großraums Los Angeles. Das Geschäftsviertel Los Angeles hat beispielsweise die höchste Arbeitsplatzkonzentration (über 400.000 im Jahre 1990), häuft jedoch lediglich 5,8 Prozent aller Arbeitsplätze der Region an. Während das Geschäftsviertel im Zentrum von Los Angeles relativ gut zu erreichen war, sind andere Geschäftsviertel durch Metrolink kaum bedient worden. Die Zeiteinsparungen, die sich durch die Benutzung des ÖV

²⁴ Giuliano und Golob (1998), S.15

ergaben, wurden einerseits durch die benötigte Zeit zur jeweiligen Station zu gelangen und andererseits durch die zusätzlich verbrauchte Zeit das Endziel der Fahrt zu erreichen wieder vollständig aufgehoben. Weiterhin war ein Großteil der gewonnen Pendler (72 Prozent) Eigentümer von KFZ, so dass es den Menschen durch die verbesserten Umleitungsmaßnahmen leicht fiel, wieder auf das Automobil umzusteigen.

Ein Zubringer-Service zu den einzelnen Stationen des Metrolink hätte an dieser Stelle den ÖV nachhaltiger gefördert. Zusätzliche Busrouten wären dementsprechend echte Alternativen zur zwanghaften MIV-Benutzung zumindest auf Teilstrecken gewesen.

Die Folge dieser Entwicklung schlägt sich in den Beförderungszahlen nieder. So sanken die Passagierzahlen in den Monaten eins bis drei nach Katastropheneintritt wieder auf ein Niveau von ca. 40 Prozent, gemessen am Beförderungsrekord Ende Januar 1994.²⁵ Dabei wurden neben dem Serviceausbau der zusätzlichen Stationen und der erhöhten Taktfolge auch Kostenanreize geschaffen, indem die Monatsticketpreise beispielsweise halbiert wurden.

Die dargestellten Ergebnisse lassen bereits im mittelfristigen Zeithorizont eine Schlussfolgerung zu: Allgemeinen Einflussfaktoren bei der Modalwahl sind auch unter post-katastrophalen Verhältnissen gültig. Aus diesem Grunde müssen die personengebundenen sowie die verkehrsträgergebundenen Faktoren mit möglichst all ihren Charakteristika aufgelistet werden. Dies geschieht in Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Einflussfaktoren bei der Modalwahl

Bezeichnung	Personengebundene Charakteristika
Sozioökonomische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> - Alter - Geschlecht - Einkommen - Haushaltsstruktur - Anzahl der Kinder
Beständige Reisefaktoren	<ul style="list-style-type: none"> - alltägliche Modalwahl - Reisezweck - Weitere Besorgungen im Verlauf der Reise zu machen
Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> - PKW-Verfügbarkeit - Führerscheinbesitz - Mitfahrgelegenheiten
Bezeichnung	Verkehrsträgergebundene Charakteristika

²⁵ vgl. Abbildung 4-1

Zugangsmöglichkeiten und Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> - Reisezeit <li style="padding-left: 20px;">- Zugangszeit <li style="padding-left: 20px;">- Umsteigezeit <li style="padding-left: 20px;">- Wartezeit <li style="padding-left: 20px;">- Parkplatzsuche - Flexibilität bezüglich Abfahrtszeit - Zugangsdistanz zu Fuß - Zugangskomfort - Gewöhnliche Störfälle / Verspätungen
Servicequalität	<ul style="list-style-type: none"> - Sofortige Ankunft des VM - Sitzmöglichkeit - Ansage der Haltestellen - Sauberkeit - Entspannungsmöglichkeit bei der Fahrt - Möglichkeit zur Unterstellung an der Bushaltestation
Servicequantität	<ul style="list-style-type: none"> - Takthäufigkeit - Regelmäßigkeit - Pünktlichkeit
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> - Tarife - Benzinpreis - Parkgebühren
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> - Unfallhäufigkeiten - Mitfahrer im ÖV

Quelle: eigene Darstellung, siehe auch Schnabel und Lohse (1997) S.233; Ortuzar und Willumsen (1994) S.188

All diese Faktoren beeinflussen den persönlichen Ausgangspunkt und die Erwartungen, die ein Verkehrsteilnehmer gegenüber den verfügbaren alternativen Verkehrsmitteln auch im mittel- bis langfristigen Zeithorizont nach einer Katastrophe hat. Es ist hierbei offensichtlich, dass jeder Verkehrsteilnehmer eine individuell gewichtete Klassifikation der aufgelisteten Faktoren vornimmt. Speziell das Zurücklassen des eigenen Automobils bedeutet in besonderem Maße, auf Flexibilität zu verzichten, was speziell in Notsituationen einen herausragenden Stellenwert einzunehmen vermag.²⁶ Die Studien von Giuliano und Golob dokumentieren daher eine allgemein vorherrschende Verhaltensweise, und zwar den schlagartigen Rückfall zur alltäglichen Modalwahl bei fortschreitender Normalisierung der Zustände. Es bedarf mittel- bis langfristig äußerst stark veränderter Denkweisen, also das

²⁶ Giuliano und Golob (1998), S.19

„über Bord Werfen eingespielter Routinen“, um verkehrsmittelspezifische Verhaltensweisen abzulegen.

Ein weiterer Aspekt, der mit Blick auf eine Naturkatastrophe nicht zu vernachlässigen ist, ist die gesellschaftliche Rahmenbedingung unter deren eine Modalwahl getroffen wird. Amerika ist nicht mit Japan zu vergleichen. Dies bedeutet, dass der übergeordnete Stellenwert des eigenen Automobils in den Vereinigten Staaten die Verkehrsnachfrage determiniert, während insbesondere in Ballungszentren Japans das ÖV-Angebot eine ganz andere Qualität birgt und dementsprechend auch nach Wiederherstellung zerrütteter Verbindungen Benutzer an sich bindet. Es ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung gegebene Modalverhältnisse in gefährdeten Gebieten genau zu studieren, um Aussagen über die Verkehrsentwicklung im Anschluss an auftretende Naturkatastrophen treffen zu können.

4.3 Langfristige Auswirkungen

Eine verheerende Katastrophe, die das gegebene Verkehrsinfrastrukturnetz massiv zerstört, birgt auch die Chance einer nachhaltigen katastrophenvorsorglichen Verkehrspolitik.

Zwar konnten zum heutigen Zeitpunkt noch keine Studien gefunden werden, die das langfristige verkehrsmittelspezifische Verhalten der Bevölkerung im Katastrophengebiet von Hurrikan Katrina untersuchen, es darf jedoch im Hinblick auf die Erkenntnisse von Northridge davon ausgegangen werden, dass üblicherweise die Verschiebungen in der Modalwahl sehr gering ausfallen.

Dies hat mehrere Ursachen. Oftmals liegt der Fokus der Wiederherstellungsmaßnahmen auf dem Straßenverkehr im betroffenen Gebiet (z.B. New Orleans), so dass das dominante Verkehrsmittel PKW schnellstmöglich alte Fahrwege zurückerhält. Kurzfristig angelegte Reparaturarbeiten nehmen weiterhin einen höheren Stellenwert ein, da sie weniger Aufwand bedeuten. So erfordern neue Wege in der Verkehrsplanung auch so etwas wie einen Masterplan, der jedoch nur selten zur Verfügung steht. Die Motivation, hierbei katastrophenresistente und umweltfreundliche Transportlösungen zu schaffen, hält sich aus diesem Grunde in Grenzen.

Es konnte sowohl bei dem Erdbeben von Northridge als auch in Kobe beobachtet werden, dass die Modalwahl nach nur neun Monaten wieder auf ihr Ausgangsniveau vor dem Beben zurückfiel. Immerhin gelang es Metrolink, seine Passagierzahlen im Großraum Los Angeles auch langfristig im wöchentlichen Durchschnitt zu verdoppeln, jedoch wäre dies auch ohne Katastrophe durch die Schaffung von Kosten- und Serviceanreizen denkbar gewesen. Des Weiteren ist festzustellen, dass die Beförderungszahlen weiter auf konstant niedrigem Niveau verharren, was dem allgemeinen Trend in den USA entspricht, wo der ÖV Anteil an der Verkehrsmittelnutzung im Durchschnitt deutlich unter zehn Prozent beträgt. Dies ist in Japan und Europa anders. Hier nehmen die öffentlichen Verkehrsmittel einen gehobenen

Stellenwert ein. In Kobe beispielsweise nutzten im Oktober 1995 vier von fünf Pendlern die Angebote des ÖPNV. Es ist hierbei zu erkennen, dass führende Industrienationen im Anschluss an natürliche Schadenereignisse sämtliche Arbeitskraft- und Energiereserven mobilisieren, um den Wiederaufbau und somit die Rückkehr zu altbewährten Verhältnissen schnellstmöglich zu gewährleisten. Durch die Anstrengungen im Katastrophenmanagement halten sich daher die langfristigen Auswirkungen von Naturgefahren auf die Verkehrsmittelwahl in Grenzen.

Durch das Fehlen etwaiger Studien, kann an dieser Stelle über das verkehrsmittelspezifische Verhalten von betroffenen Personen in Entwicklungsländern nur spekuliert werden. In Anlehnung an Tabelle 4-1 wird vermutet, dass die Modalwahl langfristig in Folge von Naturkatastrophen sehr stark von Kostenrestriktionen und genereller Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln geprägt bleibt.

5 Routenwahl

5.1 Kurzfristige Auswirkungen

Die Auswirkungen auf die Routenwahl bei dem Hurrikan Katrina Ereignis waren fundamentaler Art. Wie bereits mehrfach erwähnt, liegt die oberste Priorität bei einer Naturkatastrophe dieses Ausmaßes in der sicheren Evakuierung der betroffenen Bevölkerung. Dies bedeutet für den unmittelbaren Katastrophenfall: Die Informationspolitik der verantwortlichen Bundesstaat-, Stadt- sowie Gemeindebehörden steht im Mittelpunkt des Krisenmanagements. Hierzu zählen Maßnahmen der Frühwarnung, Informationen über die Verkehrssituation auf möglichen Ausgangsstraßen und die Koordinierung der Fluchtwege. Der 100-kilometerlange Stau auf dem Weg nach Baton Rouge waren jedoch nur ein Indiz dafür, dass diese Dienstleistungen nur unzureichend erbracht wurden.²⁷ Die Versäumnisse führten dazu, dass der Aufwand und somit auch die Kosten, die Stadt zu verlassen oftmals dermaßen hoch waren, dass viele Einwohner sich entschlossen in ihrem Haus zu bleiben. Als Konsequenz waren sie genötigt, mit den Auswirkungen des Hurrikans allein zurechtzukommen. Hier erkennt man den direkten Zusammenhang zwischen zerrüttetem Verkehrsangebot und speziell der mangelnden Informationen über alternative Wegewahl auf der einen Seite und dem Verhalten von Individuen auf der anderen. Die Personen, die sich durch ihr Verharren leichtfertig einer noch nicht überstandenen direkten Gefahr aussetzten, mussten im Anschluss häufig mit immens höherem Aufwand zwangsevakuieren werden. Um derartige Koordinierungsfehler in zukünftigen Katastrophen zu vermeiden, müssen alle Möglichkeiten der Umleitung des Verkehrs im Vorhinein bekannt und in unmittelbaren Notfallplänen durchführbar sein.

Wie bereits zuvor geschildert, wurde das Kalifornische Katastrophenmanagement als Folge des Northridge Erdbebens positiv bewertet. Die gilt auch weitestgehend für die Verkehrsumleitungsmaßnahmen, die zeitnah nach Katastropheneinbruch ergriffen wurden. An dieser Stelle ist eine konkrete Beschreibung der zerstörten Verkehrswege dienlich. Durch den Einsturz von zwei Autobahnbrücken auf dem Santa Monica Freeway zwischen den stark besiedelten Vororten und den Geschäftsvierteln im Großraum Los Angeles, waren die Menschen gezwungen Umleitungen auf dem Weg zur Arbeit in Kauf zu nehmen.²⁸ Das Besondere in diesem konkreten Fall sind die Möglichkeiten, die durch das hochentwickelte System der „Automated Traffic Surveillance and Control (ATSAC)“ der Stadt Los Angeles gegeben sind. Dank ATSAC ist die Verkehrsnetzkontrolle in Echtzeit durchführbar. Die damit einhergehende dynamische Modellierung von Verkehrsströmen im MIV ermöglicht es der Stadt unterschiedliche Signalsteuerungsstrategien zu fahren, um so die Kapazitäten auf

²⁷ Congleton, (2006), S. 28

²⁸ Giuliano und Golob (1998), S.6 f

Umgehungsstraßen zu erhöhen. Zu diesen herausragenden technischen Möglichkeiten gesellten sich vorübergehende statische Umleitungsmaßnahmen. Einerseits waren kürzere Umleitungen für High Occupancy Vehicle (HOV)²⁹ reserviert, während der restliche Verkehr auf längere Ausweichstrecken umgeleitet wurde. Andererseits wurde das Parken auf Ausweichstraßen verboten, so dass sich zusätzliche Fahrstreifen und somit auch Kapazitätssteigerungen ergaben. Auf diese Art konnte eine nahezu optimale Routenführung des MIV auf den beeinträchtigten Strecken bereits Ende Januar 1994, folglich knapp zwei Wochen nach dem Beben, ermöglicht werden. Dies war auch die Hauptursache, warum modale Verschiebungen mittelfristig kaum stattfanden.

Die Studie von Giuliano und Golob hat gezeigt, dass die Entwicklungen in der Telematik (→die Verknüpfung von Telekommunikation und Informatik) neue Wege im Umgang mit zerstörten Versorgungslinien eröffnet. Die Telematik erfasst dynamisch die sich verändernden Angebotsbedingungen und gibt diese einerseits an Verkehrsleitstellen und andererseits direkt unter Integration von Bildern und Sprache an den Systemnutzer weiter. Die Vorteile sind im Hinblick auf postkatastrophale Bedingungen:

- Erhöhung der Verkehrssicherheit (Notfallhilfe)
- Optimierte Nutzung von Verkehrsmitteln für den Benutzer (Komfortverbesserung)
- Erhöhung der Systemstabilität des Gesamtstreckennetzwerkes
- Vermeidung von Zeitverlusten
- Vermeidung von finanziellen Verlusten / Kosteneinsparungen
- Optimierte Vernetzung unterschiedlicher Verkehrsmittel

Telematiklösungen sind selbstverständlich über den konkreten Katastrophenfall hinaus langfristig anwendbar und spielen neben der Optimierung der Routenwahl im MIV eine übergeordnete Rolle bei der Verbesserung des beeinträchtigten ÖV, da hierbei die Nutzer erheblich auf die Verfügbarkeit von Informationen angewiesen sind. Im Falle von einer gleichzeitigen Verkehrs- und Stromunterbrechung, könnten allerdings auch telematische Lösungen in ihrem Einsatz beschränkt werden.

Die Schäden, die Orkan Kyrill mit sich brachte, hatten ebenfalls großen Einfluss auf die Routenwahl. Die Deutsche Bahn entschied zunächst, ihre mit bis zu 300 km/h verkehrenden ICE Züge mit einer niedrigeren Geschwindigkeit fahren zu lassen, wodurch es zu Verspätungen kam. Der Regionalverkehr wurde in weiten Teilen Deutschlands ebenfalls unterbrochen. Am Katastrophentag wurde im S-Bahn Bereich zunächst versucht den

²⁹ Fahrzeuge im MIV mit mehr als einer Person an Bord (HOV Linien - vorwiegend separierte Routenführung mit eigenem Fahrstreifen auf Highways in den USA)

Verkehr im Notbetrieb aufrecht zu erhalten, was jedoch später durch erhebliche Sturmschäden speziell der Oberleitungen unmöglich war. In diesem Zusammenhang darf nicht unerwähnt bleiben, dass sowohl die Deutsche Bahn, als auch die meisten Verbundverkehrsgenossenschaften über Umlaufpläne verfügen, die eine veränderte Routenwahl an Extremtagen auch auf der Schiene ermöglichen sollen. Trotz diesen technischen Handlungsmöglichkeiten gelang es nicht ausreichend, die Beeinträchtigungen für die Nutzer des ÖV überschaubar zu halten. Im Gegensatz zum MIV ist der Verkehrsteilnehmer im ÖV kaum flexibel in seiner Routenwahl, wodurch er von den sich im Katastrophenfall ständig ändernden Bedingungen abhängig ist.

Kleinstschadenereignisse sind sehr mannigfaltig und zeichnen sich im Speziellen durch die kurzfristige Beeinträchtigung der Routenwahl aus. Dabei variiert die Zahl der betroffenen Verkehrsteilnehmer sehr stark. Es wird an dieser Stelle erneut der Erdbeben in den Schweizer Alpen betrachtet, der die zentrale Autobahn A2 mit Geröll überschüttet. Dadurch sind Tausende Pendler, Urlauber sowie Anwohner gleichermaßen von dem Unglück betroffen. Es gilt hierbei von Seiten der Straßenverkehrswacht Masterpläne zu besitzen, um eine möglichst optimale Umleitung des MIV auf etwaigen Ausweichstraßen zu ermöglichen. Tritt eine derartige Naturgefahr häufig auf, sind zwingende Maßnahmen zur allgemeinen Risikoreduzierung zu ergreifen. Infolgedessen werden Risikokarten erstellt, um das Gefährdungspotential elementarer Verkehrsinfrastruktur in weiten Teilen Europas auszuloten.

Dies geschieht jedoch nicht nur zum Schutz von Autobahnen. Auch untergeordnete Straßen sind Mittelpunkt von Risikoanalysen. So wurde am Beispiel der Talstraße, die nach Sulden in Südtirol führt, die Schadenanfälligkeit von Straßen durch die Simulation von Lawinen ermittelt.³⁰ Die Ergebnisse von kurz- und langfristigen Studien dienen zur Entscheidungsfindung bei Kosten-Nutzen Analysen zur Implementierung und Optimierung von Risikoreduzierungsmaßnahmen. Der Fokus liegt hierbei auf der gezielten Verbesserung von Sicherheitsbestimmungen, die die aktuell drohende Gefahr durch Lawinen permanent mit einem akzeptierbaren Maß an Risiko vergleichen.³¹ Die präventive Schließung einer Straße als Zubringer zu alpinen Urlaubsorten, wie etwa der nach Sulden, ist keine Seltenheit. Die ausschlaggebenden Überlegungen für den Verkehrssektor hierbei sind die routen- sowie verkehrsmittelspezifische Abhängigkeit von diesen alpinen Straßen. Eine Umlegung ist aufgrund mangelnder alternativer Verkehrsmittel und Wege in den Alpen vielfach überhaupt nicht möglich. So bleibt ein Bergdorf von der Außenwelt abgeschnitten, oder Urlauber hängen tagelang fest, wenn eine Passstraße verschüttet wird. Es sind aus diesem Grunde alle Mittel des Katastrophenmanagements von der Frühwarnung bis zur Reaktion auch im

³⁰ vgl. Zischg et al. (2006)

³¹ vgl. hierzu auch Bründl et al. (2006)

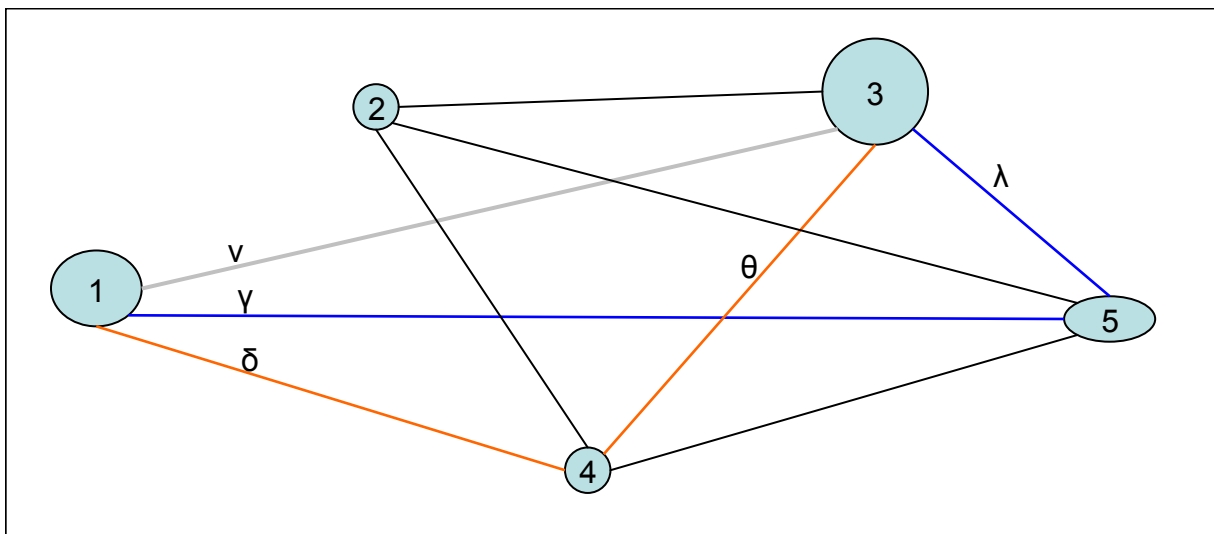
Umgang mit Kleinstschäden zu ergreifen, um die Auswirkungen eines Naturereignisses auf die bestehende Verkehrsinfrastruktur so gering wie möglich zu halten.

5.2 Mittelfristige Auswirkungen

An dieser Stelle sollen die Überlegungen aus Kapitel 3.2 wieder aufgegriffen und die Möglichkeiten der Routenwahl auf das entworfene Netzwerk übertragen werden.

Die Verbindung zwischen Knoten 1 und 2 ist nun mittelfristig zerstört und der Widerstand für den Link von Knoten 1 nach 3 ist deutlich höher als vor der Katastrophe.³² Der Abbildung 5-1 ist deutlich zu entnehmen, dass in der vorliegenden Arbeit die Umlegung der betroffenen Verkehrsströme auf wenige Kanten beschränkt ist. Es gilt nun, die Routenwahl der betroffenen Verkehrsteilnehmer unter den veränderten Bedingungen zu untersuchen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Menschen sich für den Weg des geringsten Widerstands entscheiden. Es gilt weiterhin für die nicht zerrütteten Kanten des Netzwerkes die Annahme, dass direkte Fahrten zwischen den Verkehrsgebieten kürzer sind als indirekte.

Abbildung 5-1: Netzwerk nach Schadensfall I



Quelle: eigene Darstellung

Konkret für den einfachen Fall, dass ein Netzteilnehmer von Verkehrszelle 1 nach Verkehrszelle 3 gelangen will, müssen folgende drei Wegeketten mit ihren routenspezifischen Widerständen verglichen werden.

Wegekette	Widerstand
1 - 3	v
1 - 4 - 3	$\delta + \theta$
1 - 5 - 3	$\gamma + \lambda$

³² Es gilt: $v \gg \beta$

Ist der kombinierte Widerstand aus einer indirekten Fahrt niedriger als der erhöhte Widerstand v von Knoten 1 nach Knoten 3, so ist davon auszugehen, dass der Netzbenutzer sich auch für diese entscheiden wird. Zu beachten ist dabei die generelle Bereitschaft der einzelnen Individuen Umwege in Kauf zu nehmen. Oft wird die als günstigste eingeschätzte Route aus mannigfaltigen subjektiven Gründen von den Verkehrsteilnehmern gemieden. Des Weiteren ist anzunehmen, dass die Durchfahrt einer Verkehrszelle ebenfalls nicht kostenfrei bzw. ohne Zeitverlust möglich ist. In der Verkehrswissenschaft ist dieses Prinzip, nach dem jeder Nutzer des gegebenen Netzes ausschließlich daran interessiert ist, seinen eigenen Nutzen zu maximieren, als „user equilibrium“ bekannt. Wardrop veröffentlichte hierzu bereits 1952 seine Thesen, in denen nachgewiesen wird, dass dieses subjektive Verhalten der Verkehrsteilnehmer oftmals nicht zu der Wahl der systemoptimalen Route führt.³³

Die triviale Wegfindung, die an dieser Stelle exemplarisch beschrieben wird, unterliegt in der Praxis jedoch weiteren Restriktionen, die insbesondere in post-katastrophalen Verkehrsangebotsverhältnissen berücksichtigt werden müssen. Hierzu zählt zunächst die Tatsache, dass üblicherweise kein planarer Graph als Netzwerk zu Grunde liegt (selbst im vorliegenden Fall nicht), d.h. das Untersuchungsgebiet ist nicht kreuzungsfrei. Dies bedeutet, dass sich dem Verkehrsteilnehmer in der Praxis neben den aufgezeigten Wegen noch weitere alternative Routen bieten. Hieran scheitert auch die praktische Anwendung von Wegwahlmodellen, da die Gesamtzahl der alternativen Routen zumeist nicht eindeutig zu definieren ist.³⁴ Im Gegensatz zur Ziel- und Verkehrsmittelwahl fällt es schwer die einzelnen Alternativen (d.h. Routen) klar gegeneinander abzugrenzen. Wird beispielsweise versucht den von Hurrikan Katrina nahezu vollständig verwüstete Bundesstaat Louisiana als Untersuchungsgebiet für die Analyse der Wegwahl von Personen zu definieren, so steht zweifelsfrei fest, dass die Komplexität des zugrundeliegenden Netzwerkes und die Vielzahl der Verkehrsmittelnutzer die Aussicht einer substantiellen wissenschaftlichen Prüfung übersteigt. Eine allgemein gültige Definition, welche Eigenschaften eine als sinnvoll anzuerkennende Alternativroute aufweisen muss, dass diese in die Routenwahl implementiert werden kann, erscheint in diesem Zusammenhang nicht möglich. Speziell im MIV steht bei der Routenwahl die Frage im Mittelpunkt, wie detailliert das zu untersuchende Verkehrsnetz sein muss. Bezogen auf die Katastrophenproblematik ist daher die Einteilung nach Schadensfällen hilfreich.³⁵ Ist eine Passstraße in den Schweizer Alpen verschüttet, muss der Untersuchungsgraph (das Verkehrsnetz) auch die kleinste Zubringerstraße in der betroffenen Region beinhalten, um geeignete Umleitungsmaßnahmen zu finden. Bei Hurrikan Katrina ist an dieser Stelle in erster Linie das Bundesstraßen bzw. Autobahnnetz zu betrachten.

³³ vgl. Ortuzar und Willumsen (1994), S.324 ff

³⁴ Wermuth (1994), S.262

³⁵ vgl. Kapitel 1

Eine wesentliche Schwäche der häufig praktizierten Routenwahl ist die Nichtberücksichtigung von Be- und Überlastungszuständen einzelner Netzabschnitte. Bekanntlich ist insbesondere im Straßenverkehr die Kapazitätsgrenze einer Strecke durch zusätzliche PKW schnell erreicht. So kann es durch die vermehrte Nutzung der Verbindung von Knoten 1 nach Knoten 4 bzw. 5 zu Kongestionseffekten (z.B. Stau) auf diesen Kanten kommen. Die Erhöhung der Fahrtdauer und somit der Widerstände bleibt aus diesem Grunde nicht nur auf die direkt beschädigten Kanten in einem Netzwerk beschränkt. Gerade für die Routenwahl ist die Auslastung aller zur Verfügung stehenden Verbindungen ausschlaggebend und muss daher unbedingt in das Wegewahlmodell einfließen. Als Konsequenz können die belastungsunabhängigen Routenwahlmodelle zwar ein grundsätzlich realistisches Verhaltensprinzip abbilden, sind jedoch im mittelfristig-langfristigen Zeithorizont nach verheerenden Katastrophen kaum anwendbar.

5.3 Langfristige Auswirkungen

Die langfristigen Auswirkungen auf eine veränderte Routenwahl im Anschluss an Katastrophen hängen im Wesentlichen von der Wiederherstellungsdauer der erschütterten Verkehrsinfrastruktur ab. Es ist offensichtlich, dass das Verkehrsangebot als Folge eines solch intensiven Hurrikans wie Katrina nicht innerhalb von drei Monaten auf sein ursprüngliches Niveau zurückkehren kann. Als Konsequenz bleiben die Verkehrsteilnehmer auch im langfristigen Zeithorizont von starken Störungen und dadurch hervorgerufenen Umleitungsmaßnahmen betroffen. Die Intensität einer Naturgefahr ist hierbei proportional zu den verursachten Schäden und aus diesem Grunde insbesondere für die Routenwahl relevant, da sich Wegemodelle in erster Linie mit der Angebotsseite der Verkehrsmodellierung beschäftigen.

In diesem Zusammenhang haben die Studien des Northridge Erdbebens gezeigt, dass mit konsequentem Einsatz eine schnelle Normalisierung der verkehrstechnischen Zustände möglich ist. In Folge der fortschreitenden Wiederherstellung aller Verknüpfungen in einem Netzwerk halten sich die bleibenden Auswirkungen auf die Verkehrsumlegung in einem prinzipiell überschaubaren Maß. Es ist zu erwarten, dass die Individuen ihre Entscheidung langfristig nach dem Prinzip des (widerstands-)kürzesten Wegs zwischen zwei gewünschten Verkehrszellen treffen. Für dieses Kürzeste-Routen-Problem existiert in der Wissenschaft eine Vielzahl von Lösungsverfahren wie z.B. Routenbaumverfahren³⁶.

Interessant zu beobachten bleibt, ob neu gewählte Wege zu einer dauerhaften Lösung werden können. Dies hängt von mehreren Faktoren ab. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Definition der routenspezifischen Widerstände. Ein Netzbenutzer entscheidet sich bekanntlich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit für eine Fahrtroute, indem er jeweils die

³⁶ vgl. Wermuth (1994), S.232 ff

Widerstände zwischen den Verzweigungspunkten seiner Route und allen anderen möglichen Routen vergleicht. Von individueller Bedeutung ist daher die Gewichtung, die er den zu betrachtenden Nebenbedingungen: Fahrtdauer, Reisegeschwindigkeit, Fahrtkosten, Straßenausbauzustand, Auslastungsgrad und Wegweisung zuordnet. Die Entwicklung des Verhältnisses aus Kosten und Zeit ist somit nur eine Randbedingung bei der langfristigen Analyse der Routenwahl nach Katastrophen. In diesem Kontext sei abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass einfache Nutzenmaximierungsmodelle nicht die gewünschten Ergebnisse liefern. Vielmehr ist eine Minimierung des Widerstandes durch belastungsabhängige Wegwahlmodelle³⁷ zu untersuchen, da diese die veränderten Bedingungen in Folge einer Naturkatastrophe am ehesten berücksichtigen können.

³⁷ vgl. z.B. stochastische Routenwahlmodelle

6 Güterverkehr

Die bisherigen Feststellungen bezogen sich auf den Personenverkehr und orientierten sich am 4-Stufen-Algorithmus. Die Integration der Katastrophenproblematik ist dessen ungeachtet auch für die Güterverkehrsmodellierung in besonderem Maße interessant. Dabei sind allgemeine Gesetzmäßigkeiten im Güterverkehr auf ihre Gültigkeit im Katastrophenfall sowie in Bezug auf einen langfristigen Zeithorizont zu untersuchen.

6.1 Kurzfristige Auswirkungen

Zur Katastrophenvorsorge im Güterverkehr ist es nötig Distributionspunkte mit einer hohen Wertekonzentration zu analysieren. Es gilt in diesem Zusammenhang, essentielle Infrastrukturen im Verkehrssektor vor drohenden Naturgefahren zu schützen.

Studien haben belegt, dass bei einem Stillstand in der Containerschifffahrt 90 Prozent der Waren aus den Supermarktregalen verschwinden würden. Dementsprechend tragen die großen europäischen Überseehäfen (Amsterdam, Bremerhaven, Hamburg, Lissabon, Marseille, Rotterdam, etc.), in denen Container mit enormen Werten lagern, ein erhöhtes Risiko. Eine Sturmflut, die einen beachtlichen Schaden am Hamburger Hafen verursacht, hat in speziellem Maße Auswirkungen auf das Güterverkehrsaufkommen. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass trotz verbesserter Deichkonstruktionen nach der größten deutschen Sturmflutkatastrophe im Februar 1962 in Hamburg, die Hansestadt und insbesondere der Hafen bereits 1976 durch den sogenannten Capella Orkan verwüstet wurde.³⁸

Wenn Winterstürme Wassermassen aus der Nordsee in die Deutsche Bucht drängen, könnte leicht ein neues Jahrhunderthochwasser an der Nordsee große Schäden verursachen, zu denen auch noch umfangreiche Sturmschäden kommen würden. Das Sturmflutschadenpotential an der Nordsee dürfte nach Schätzungen der Münchener Rückversicherung in einer Größenordnung von ca. 30 Mrd. EUR liegen. Neben den bedrohten Lagern, sind selbstredend ebenfalls die vor Anker liegenden Schiffe gefährdet. Gerade in der heutigen Zeit, wo riesige Containerschiffe oftmals kaum länger als ein bis zwei Tage im Hafen liegen, hätte eine Sturmflut verheerende Auswirkungen. Durch die globalen Veränderungen in der Konsumgüterindustrie spielt das Zeitbudget im Güterverkehr eine zunehmend wichtige Rolle, so dass je nach Schadensklassifizierung³⁹, Stillstand bei der Distribution von Containern sowie assoziierte Transportbeeinträchtigungen weitreichende Folgen für die verladende Wirtschaft haben können.

Hierbei ist die Flexibilität aller am Güterversand beteiligten Akteure gefragt.

³⁸ vgl. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (1998), S.24 ff

³⁹ vgl. Kap. 1

Da sich bedingt durch die sich gegenseitig hochschaukelnden Effekte im Güterverkehr⁴⁰ allgemein die Möglichkeit einer flexiblen Modalwahl beschränkt hält, wird bereits für den konkreten Katastrophenfall davon ausgegangen, dass Güter nicht ohne enorme kostenintensiven Anstrengungen das Verkehrsmittel wechseln können. Die expliziten Eigenschaften der betroffenen Güter in Art, Menge, Größe, Volumen, Zustand und Gebindeart⁴¹ der Güter dokumentieren eine gewisse Affinität zu einem Verkehrsmittel, so dass die Verlagerung insbesondere von der Straße auf die Schiene und umgekehrt erst recht unter Extrembedingungen schwer fällt.

Daher sind die größten Auswirkungen einer Naturkatastrophe hinsichtlich der Routenwahl in der Güterverkehrsmodellierung zu erwarten. Die Frachtführer unterliegen hierbei den gleichen veränderten Angebotsbedingungen wie die Verkehrsteilnehmer im Personenverkehr, so dass insbesondere die Spediteure Notfallpläne für das Versandverfahren und die Übergabe von Gütern in der Hinterhand haben sollten. Einen besonderen Stellenwert genießen auch hier sicherlich Telematiklösungen. Dabei ist zu beachten, dass die Interaktion zwischen den Akteuren für die einzelnen Transportaufträge nur durch eine Mikromodellierung erfasst werden können.

6.2 Mittelfristige Auswirkungen

Eine Möglichkeit, mittelfristige Auswirkungen von Naturgefahren auf den Güterverkehr nachzuweisen, ist die Prüfung von Geschäftsverlusten durch eine Befragung von Firmen im Katastrophengebiet. Bei dem Erdbeben von Northridge hat ein Gutachten von Boarnet ergeben, dass 43 Prozent der befragten Firmen berichteten, ein Teil ihrer katastrophengebundenen Geschäftsverluste sei aufgrund des erschütterten Transportangebots entstanden.⁴² Diese Zahl dokumentiert, dass die Verkehrsbeeinträchtigungen eine wichtige Rolle für die betroffenen Betriebe spielen. Die für die Güterverkehrsmodellierung relevanten Punkte im Hinblick auf die Stärke des Geschäftsverlusts sind hierbei:

- Versandverspätungen von und zu Geschäftstellen
- Nichtverfügbarkeit von Dienstfahrzeugen
- Höhere Preise/Kosten für Güter und Material

Neben diesen Faktoren sind weiterhin allgemeine Zugangsprobleme von Mitarbeitern und Kunden zu dem Arbeitsplatz sowie direkte Schäden am Inventar der Lager und Firmengebäude für Geschäftsverluste hauptverantwortlich. Es fällt auf, dass infolge von

⁴⁰ An dieser Stelle sei insbesondere darauf hingewiesen, dass der Substitutionseffekt durch den Güterstruktur-, Gütermengen-, Logistik sowie Containerisierungseffekt hervorgerufen wird.

⁴¹ Z.B. fest, flüssig, gasförmig, rieselfähig, palletiert, in Säcken, in Containern

⁴² vgl. Boarnet (1998), S.49 ff

Naturkatastrophen die Zeitrestriktion in der Auslieferung von Waren eine besonders starke Rolle einnimmt.

Zu beachten ist, dass sich die Auswirkungen auf die einzelnen Firmen unterschiedlich gestalten. Entscheidend ist ihre jeweilige Stufe im Produktions- und Konsumentenprozess. So sind Einzel- und Großhandelsbetriebe verwundbarer als Fertigungsbetriebe. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da eben die Handelsbetriebe beispielsweise durch den Absatz von verderblichen Gütern stärker auf den störungsfreien Güterversand angewiesen sind.

Eine weitere wichtige Erkenntnis, die im Zuge von Northridge gewonnen werden konnte, ist, dass keine Korrelation zwischen Geschäftsverlusten und der Entfernung zu der zerstörten Verkehrsinfrastruktur herrscht. Entgegen aller Erwartungen ist die Nähe von Firmen zum Epizentrum oder den zerrütteten Freeways kein Indikator dafür, ob ein Betrieb größere Verluste in seinem Geschäft erfährt. Das bedeutet, dass die Firmen weniger nach Ihrem Standort analysiert werden müssen, sondern eher der Grad ihrer Nutzung des großräumigen Verkehrsnetzes zu ermitteln ist. In diesem Zusammenhang gilt demzufolge auch in der Folge von Katastrophen, dass der Einfluss der Entfernung im Güterverkehr gering ist.

Absolut betrachtet hielten sich die mittelfristigen Auswirkungen der Katastrophe auf den Güterverkehr äußerst in Grenzen. Willson stellt in seiner Analyse fest, dass die Einkommensverluste im ersten Quartal 1994 gerade einmal 0,2 Prozent betragen und die Verbraucherkosten um 3,5 Prozent stiegen.⁴³ Diese moderaten finanziellen Effekte haben ihre Ursache unter anderem in den sich darstellenden Verkehrsangebotsbedingungen.

Es konnte festgestellt werden, dass sich überraschenderweise die Zerstörung von Verkehrsinfrastruktur insbesondere von Schnellstraßen in Grenzen hielt. Die schnelle Wiederherstellung der beschädigten Freeways und die damit einhergehende rasche Kapazitätsmaximierung des Transportangebots ermöglichte es, vermeintliche Probleme, wie Staus und weite Umleitungen, schnell zu beheben. Durch die Flexibilität einerseits des Straßenverkehrsamtes und andererseits der betroffenen Spediteure sind strategische Überlegungen, wie z.B. eine veränderte Modalwahl erst gar nicht nötig geworden. Des Weiteren fand die Studie heraus, dass die angesiedelten Speditionsunternehmen kontinuierliche Erfahrungen im Umgang mit man-made und Umweltkatastrophen haben. So betrachteten viele das Northridge Erdbeben lediglich als eine weitere Erschütterung des Großraums Los Angeles, welche keine zwingenden Änderungen der praktizierten Güterverkehrsstrategie hervorruft. Dies unterstreicht die in der vorliegenden Arbeit bereits mehrfach erwähnte Abhängigkeit des jeweiligen Verkehrsmittels von der Erwartungshaltung der Benutzer und in diesem konkreten Fall der Spediteure.

⁴³ vgl. Willson (1998), S.37 ff

Das Hauptargument, warum die Auswirkungen auf den Güterverkehr eher kurzfristiger Natur waren, verbirgt sich dahinter, dass keine Schlüsselverkehrseinrichtungen zur Distribution von Gütern beschädigt wurden. Weder ein Hafen oder Flughafen noch ein Eisenbahnknotenpunkt wurde durch das Beben ernsthaft in Mitleidenschaft gezogen.

Werden diese Erfahrungen auf verheerende Katastrophen wie etwa Hurrikan Katrina übertragen, dann ist anzunehmen, dass durch die Zerstörung essentieller Infrastrukturen neben Routenplanänderungen auch fundamentale Auswirkungen in Güterverkehrsaufkommen, Verteilung und eventuell Verkehrsmittelwahl zu spüren waren.

Um den Einfluss von post-katastrophalen Verkehrsbedingungen fundiert in die Güterverkehrsmodellierung einzuarbeiten, ist es wichtig, möglichst viele Firmen zu befragen. An dieser Stelle zeigt sich eines der Hauptprobleme in der Analyse, und zwar die Abhängigkeit vom „guten Willen“ der Befragten. Bei dem Erdbeben von Northridge war die verladende Wirtschaft relativ zufrieden mit der schnellen Wiederherstellung der Mobilität durch das zuständige Verkehrsamt. Dies gilt für Hurrikan Katrina und viele andere Naturkatastrophen nicht.

6.3 Langfristige Auswirkungen

Der interessanteste Themenkomplex, der sich im Hinblick auf den langfristigen Zeithorizont nach Naturgefahren ergibt, ist die Modalwahl. Im Warenverkehr der heutigen globalisierten Welt ist ein Trend zur Zeitknappheit und der Vernetzung der Transporteure zu erkennen. Zusammen mit dem veränderten Konsumentenverhalten (B2C) sowie weiterer Struktureffekte wird der Straßengüterverkehr deshalb in besonderem Maße begünstigt. Diese Verkehrsmittelaffinität der zu transportierenden Güter vermag die Schiene als konkurrierender Verkehrsträger nicht auszugleichen. Ihre systemspezifischen Nachteile werden langfristig dazu führen, dass die Straße die größten Zuwächse in der Güterverkehrsleistung erhält. Dies wird durch Studien für Deutschland und Europa bestätigt.⁴⁴

Die Fragestellung, die sich im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit ergibt, lautet:

- Welche Naturgefahren haben Einfluss auf die strategische Modalwahl? Und haben sie daher das Potential, die allgemeine modale Entwicklung zu beeinflussen?

Zunächst darf dies für Kleinstschadensereignisse bis hin zu mittelschweren Naturkatastrophen bezweifelt werden. Ein Erdbeben, das eine Bundesstraße verschüttet, kann in der Regel umfahren werden. Ein Hochwasser, das beispielsweise durch Starkregen hervorgerufen wird und Verkehrsinfrastrukturobjekte überschwemmt, zwingt in den seltensten Fällen zum modalen Wechsel. Sogar ein Orkan wie Kyrill präsentiert sich den

⁴⁴ vgl. Rommerskirchen und Ickert (2004) sowie Ratzenberger (2005)

beteiligten Akteuren im Güterverkehr lediglich als außerordentliches Ereignis. Insofern kein gravierender Schaden an firmeneigenem Inventar verursacht wird, ist der Stillstand im Warentransport am Katastrophentag für die Spediteure bereits ein bis zwei Monate ohne wirtschaftliche Bedeutung, da kaum Geschäftsverluste langfristig beobachtet werden konnten.

Anders verhält es sich bei Betrachtung des Rheins und seiner hohen Wertkonzentration entlang des Flusses. Während eine Havarie im Rhein, also das Einzelschicksal eines Schiffes sicherlich noch nicht lohnenswert ist zu untersuchen, so verhält es sich anders, wenn über viele Wochen die Niederschläge ausbleiben. Die Flussschifffahrt ist von niedrigen Pegeln regelmäßig betroffen. Wird ein Szenario simuliert bei dem die Schiffe von der Nordsee noch nicht einmal Duisburg und damit den größten Binnenhafen der Welt aufgrund anhaltender Hitzewellen erreichen können, so hat dies weitreichende Folgen für die verladende Wirtschaft. In diesem Zusammenhang ist ein generelles Akzeptanzproblem der Flussschifffahrt, und somit ein Strategiewechsel seitens der Spediteure in den Folgejahren denkbar.

Des Weiteren hat ein Jahrhunderthochwasser wie das der Elbe im Jahre 2002 in Deutschland nur bedingt nachhaltige Schäden an wichtigen Verkehrsinfrastrukturprojekten des Güterverkehrs verursacht. Daher konnten keine Studien gefunden werden, die eine grundlegende Veränderung in der Modalwahl der am Warentransport beteiligten Akteure dokumentieren.

Die Erfahrungen in der Vergangenheit haben gezeigt, dass die größten Effekte von Naturgefahren auf die Güterverkehrsmodellierung von Sturmfluten und Erdbeben ausgehen. Da die Erdbebenwahrscheinlichkeit in Deutschland sehr gering ist, kommen allenfalls Winterstürme, als Zerstörer bedeutungsvoller Infrastrukturen im Straßengüterverkehr in Frage. Es fällt jedoch schwer ein Szenario zu entwickeln, wo der Straßengüterverkehr so stark beeinträchtigt ist, dass modale Verlagerungen auf die Schiene unbedingt erforderlich sind. Diese Verlagerung wäre jedoch aus Sicht einer nachhaltigen Verkehrspolitik wünschenswert.

Bezogen auf den Güterverkehr soll abschließend auf die ordnungspolitischen Möglichkeiten hingewiesen werden, die es erlauben, einerseits die aktuellen Verkehrsprobleme und andererseits die Gutachten der Klimaforscher mit einzubeziehen.

In der öffentlichen Wahrnehmung setzt sich allmählich der Gedanke durch, dass zunehmende Naturgefahren und CO₂ Ausstoß, insbesondere durch den stetig steigenden Straßengüterverkehr, zusammenhängen. Diesbezüglich ergibt sich eine politische Notwendigkeit zu handeln, um die externen Kosten von Emissionen zu verringern.

Der Bericht von Stern⁴⁵ hat die Verkehrsstrategen insbesondere auf den Faktor der Besteuerung von CO₂-Ausstoßen aufmerksam gemacht. Hier kann die Bahn als Transportmittel mit deutlich niedrigeren Emissionswerten punkten. Es muss prinzipiell erreicht werden, dass der umweltschädlichere Transport von Waren auf der Straße reduziert wird. Infolgedessen sind sämtliche Maßnahmen hilfreich, die zu einer Verteuerung des Gütertransports proportional zu den gefahrenen Kilometern führt. Wird die Entfernung zu einer echten Restriktion in der Güterverkehrsmodellierung, sind die systemspezifischen Nachteile der Bahn am ehesten auszugleichen. Im langfristigen Zeithorizont ist durch eine stärkere modale Verlagerung des Warentransports auf die Schiene, mit einer Steigerung des allgemeinen Wohlfahrtsnutzens zu rechnen.

Des Weiteren bleiben natürlich investitionspolitische Schritte nicht außen vor. So stellt beispielsweise die Betuweroute⁴⁶ eine sinnvolle Maßnahme zur Stärkung des Schienengüterverkehrs in der modalen Verkehrsverteilung dar. Die neue Strecke soll dafür sorgen, dass die im Hafen von Rotterdam umgeschlagenen Güter so schnell wie möglich in das europäische Hinterland befördert werden können.

Diese Handlungen sind zwar noch keine Garantie zur Eindämmung der Vulnerabilität des Güterverkehrs vor drohenden Naturgefahren. Sie zeigen jedoch als Weg in eine nachhaltige Richtung.

⁴⁵ vgl. Stern (2006)

⁴⁶ vgl. www.betuweroute.nl

7 Fazit und Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen von Naturgefahren auf das individuelle Verkehrsverhalten untersucht. Dabei wurde eine Differenzierung der Naturkatastrophen nach Schadensfällen vorgeschaltet, da die Verkehrsbeeinträchtigungen je nach Grad und Intensität einer Katastrophe sehr stark variieren. Die Arbeit orientierte sich an der Struktur des 4-Stufen Ansatzes in der Personenverkehrsmodellierung und untersuchte sukzessiv für den kurz- bis langfristigen Zeithorizont nach Eintritt einer Naturkatastrophe die einzelnen Stufen:

- Verkehrsentscheidung
- Verkehrsverteilung
- Modalwahl
- Routenwahl

Es wurde anhand von konkreten Beispielen – Hurrikan Katrina, Erdbeben von Northridge, Orkan Kyrill, Erdbeben in den Schweizer Alpen - der Einfluss von veränderten, teilweise chaotischen Verkehrszuständen auf die Verhaltensweise von Verkehrsteilnehmern analysiert. Abschließend folgte eine getrennte Betrachtung der Katastrophenproblematik im Güterverkehr.

Die Intensität eines Bebens, die Windgeschwindigkeit eines Sturmes, die Größe eines Waldbrandes, die Überflutungsflächen eines Hochwassers oder auch die Masse eines Erdbebens – zusammengefasst in dem Ausmaß einer Naturgefahr - sind in der Regel proportional zu den verursachten Schäden. Daraus folgt eine wichtige Erkenntnis der vorliegenden Arbeit:

Je größer das Gefährdungspotential einer Schlüsselverkehrsinfrastruktur ist, desto lohnenswerter ist deren nachhaltiger Schutz durch Maßnahmen zur dauerhaften Katastrophenvorbeugung. Wichtig für die Zukunft wird sein, die Redundanz des Verkehrsnetzes zu erhöhen, d.h. die Nutzung sämtlicher Ressourcen voranzutreiben, die einerseits eine rasche Wiederherstellung des nahezu systemoptimalen Verkehrszustandes gestatten und andererseits Störfälle bestmöglich kompensieren können. Durch Naturgefahren ist stets die Angebotsseite der Verkehrsmodellierung betroffen. Als Folge testen außergewöhnliche Extremereignisse die Anpassungsfähigkeit von Verkehrsteilnehmern auf veränderte Angebotsbedingungen.

Diese Arbeit hat gezeigt, dass Individuen hoch adaptiv handeln. Das bedeutet, dass sie in der Lage sind, sich an veränderte Verkehrsbedingungen schnell anzupassen. Im Gegenzug werden diese Angleichungen ebenso rasch wieder verworfen, sobald sie nicht mehr von

Nöten sind. Als Folge sind die Auswirkungen von Naturgefahren auf die Verkehrsmodellierung in den meisten Fällen nur kurzfristig nachweisbar. Die im Zusammenhang mit Naturkatastrophen am häufigsten auftretenden Verkehrsstörungen sind Überlastungserscheinungen, wie beispielsweise Stau. Daher treten die größten Veränderungen bei der Routenwahl auf. Hierbei nutzen Reisende die ihnen zur Verfügung stehenden alternative Wege und wechseln dabei eher selten das Verkehrsmittel. Bezüglich des Verkehrsaufkommens ist am häufigsten eine Verschiebung des Abfahrtszeitpunktes im Berufsverkehr, sowie eine Verschiebung bzw. ein Verzicht auf einzelne optionale Fahrten zu beobachten. Diese nachweisbare Flexibilität der betroffenen Akteure spiegelt sich ebenfalls im Güterverkehr wider. Enorme Auswirkungen auf die Güterverkehrsmodellierung sind immer dann zu beobachten, wenn größere Warenumschlageplätze, wie beispielsweise ein Hafen erschüttert werden. Dementsprechend ist der volkswirtschaftliche Schaden bis hin zu mittelschweren natürlichen Ereignissen vernachlässigbar, insofern keine wichtigen Verkehrsknoten oder Distributionszentren betroffen sind. Sogar ein Extremereignis, wie etwa das Erdbeben von Northridge in Kalifornien, hinterlässt verkehrsspezifisch kaum nachhaltige Veränderungen, wenn weder Häfen, Flughäfen noch Bahnhöfe von dem Beben zerstört wurden. Es sei daher an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass Vulnerabilitätsanalysen von Verkehrsknoten in der Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen werden, schon allein aus dem Grunde, dass neben natürlichen Bedrohungen (wie in dieser Arbeit dargestellt) weitere externe Gefahren (z.B. Terrorismus) für sogenannten Hubs in der heutigen globalisierten Welt existieren. Vor dem enormen Aufwand derartiger Risikoanalysen wird oftmals zurückgeschreckt. Die Aktualität der Katastrophenproblematik zwingt die Politik auf der anderen Seite, die Forscher im zunehmenden Maße mit der wissenschaftlichen Untersuchung von essentiellen Verkehrsinfrastrukturobjekten zu beauftragen.

Tabelle 7-1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Zeithorizont Kapitel	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Verkehrsentstehung	<p>Schadensfall I. - Dominanz des allgemeinen Krisenmanagements, Verkehrswege dienen der Evakuierung → chaotische Verkehrszustände nicht auf klassische Modelle projizierbar</p> <p>Schadensfall II. - Abnahme des allgemeinen Verkehrsaufkommens, Verzicht auf optionale Fahrten, Abfahrtszeitpunktverschiebung im Berufsverkehr</p> <p>Schadensfall III. - Niveau 2 Tage speziell im Schienenverkehr unterhalb Ø</p> <p>Schadensfall IV. - kaum Einfluss</p>	<p>Schadensfall I. - Bevölkerung, Beschäftigung und Infrastrukturausstattung sinken → Verkehrsaufkommen ↓ in betroffener Region</p> <p>Schadensfall II. - Reduktion von optionalen Fahrten, Berufsverkehr erreicht weitestgehend Ausgangsniveau</p> <p>Schadensfall III., IV. → keine nachweisbaren Auswirkungen</p>	<p>Schadensfall I. – Bevölkerungsumzug → Verkehrsentstehung geringer als vor der Katastrophe</p> <p>Schadensfall II. – Veränderungen im Gesamtverkehrsaufkommen sehr gering und daher vernachlässigbar</p>
Verkehrsverteilung	<p>Schadensfall I. – Zielwahl sicherheitsgeprägt und bestimmt von verfügbaren Informationen über Verkehrslage → grundlegende Veränderungen</p> <p>Schadensfall II. – Meidung von Fahrten ins Katastrophenzentrum, generelle Zieländerung speziell bei Freizeitverkehr</p> <p>Schadensfall III. – Verkehrsziele werden z.B. durch Brückensperrungen im Straßenverkehr sowie z.B. flächendeckender Einstellung des Zugverkehrs nicht erreicht</p> <p>Schadensfall IV. – kaum Einfluss</p>	<p>Schadensfall II. - 5% der Pendler im Berufsverkehr änderten Arbeits- bzw. Wohnort, Zielwahl im Freizeitverkehr leicht verändert</p>	<p>Schadensfall II. – enger Zusammenhang mit Verkehrsentstehung, daher moderate Zielwahländerungen, jedoch nicht quantifizierbar</p>
Modalwahl	<p>Schadensfall I. – Modalwahl eingeschränkt und dominiert von Verfügbarkeit, Informationspolitik und Evakuierungsmöglichkeiten</p> <p>Schadensfall II. – Moderater modaler Wechsel von MIV zu ÖV dank Anreizen und mangelnder Alternativen → ÖV-, MIV-Ersatz durch NMV bei geringer Entfernung zum Arbeitsplatz möglich</p> <p>Schadensfall III. – kaum modale Verschiebungen, lediglich im unmittelbaren Katastrophenfall → Verzicht auf NMV, diverse ÖV-Angebote nicht verfügbar</p> <p>Schadensfall IV. – Individuelle Schadensfall-Betrachtung notwendig → Modaler Wechsel nur in Ausnahmesituationen (z.B. abgelegene Tallage)</p>	<p>Schadensfall II. - Rückgang der kurzfristig gewonnenen ÖV-Anteile am Modalsplit, Klassifizierung in Personen- sowie Verkehrsträgergebundene Faktoren, die die Modalwahl wie im störungsfreien Zustand beeinflussen</p>	<p>Schadensfall I. – Beeinträchtigungen weiterhin vorhanden, jedoch nicht quantifizierbar wegen fehlender Datengrundlage</p> <p>Schadensfall II. – Modalwahl wieder auf Niveau vor der Katastrophe</p>

<p>Routenwahl</p>	<p>Schadensfall I. – chaotische Verkehrszustände führen zu Mega-Staus → Versagen der Evakuierungsumleitungsmaßnahmen Schadensfall II. –Kapazitätssteigerungsmaßnahmen im MIV durch Nutzung von Telematik zur Routenführung Schadensfall III. – Sicherheitsbedingte Brückensperrungen auf Autobahnen, Notfallpläne bei der Bahn (niedrigere ICE Geschwindigkeiten, teilweise Einstellung von Regionalverkehr) Schadensfall IV. – Präventive Schließung von z.B. Gebirgsstraßen</p>	<p>Schadensfall I. – Betrachtung des Verkehrszustands im abstrakten Netzwerk, Vergleich von routenspezifischen Widerständen →</p>	<p>Allgemein: Angleichung der Routenwahl an Niveau vor Katastrophen bei Normalisierung der Angebotsbedingungen → Auswirkungen sehr gering</p>
<p>Güterverkehr</p>	<p>Güterverkehrsaufkommen in erster Linie dann betroffen, wenn Distributionspunkte größere Schäden erfahren → Schutz von Übersee-, Flughäfen (Bsp.: Sturmflutkatastrophe im Hamburger Hafen) Möglichkeiten zur flexiblen Modalwahl sehr gering Frachtführer unterliegen bei der Routenwahl gleichen Restriktionen wie der Personenverkehr</p>	<p>Verkehrsbeeinträchtigungen spielen wichtige Rolle für Spediteure, Geschäftsverluste bedingt durch → Höhere Preise/Kosten für Güter und Material, Versandverspätungen, Zugangsprobleme zum MIV-Netz Bsp.: Erdbeben von Northridge - absolut betrachtet geringe Auswirkungen auf die Volkswirtschaft</p>	<p>Keine Auswirkungen von kleinen und mittelschweren Schadensereignissen Notwendiger modaler Wechsel bei extrem anhaltenden Hitzewellen (→ Flussschifffahrt) denkbar</p>

Quelle: eigene Darstellung

Literaturverzeichnis

- Boarnet, M. G.: *Business Losses, Transportation Damage, and the Northridge Earthquake*, in: Journal of Transportation and Statistics, 1, Bureau of Transportation Statistics, 1998, S. 49 - 64.
- Brown, S. P., Mason, S. L., und Tiller, R. B.: *The effect of Hurricane Katrina on employment and unemployment*, in: Monthly Labor Review online, 129 No.8, U.S. Department of Labor, 2006
- Bründl, M. et al.: *IFKIS - a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland*, in: Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, 2006, S. 257 - 262.
- Clayton, R. L. und Spletzer, J. R.: *Worker mobility before and after Hurricane Katrina*, in: Monthly Labor Review online, 129 No.8, U.S. Department of Labor, 2006, S. 11 - 21.
- Congleton, R. D.: *The story of Katrina: New Orleans and the political economy of catastrophe*, Fairfax County, Virginia: George Mason University, 2006.
- Deutsche Bahn AG: *Die Bahn mit Zukunft: Zahlen, Daten, Fakten*, Berlin: Deutsche Bahn AG, 2007.
- Giuliano, G. und Golob, J.: *Impacts of the Northridge Earthquake on Transit and Highway Use*, in: Journal of Transportation and Statistics, 1, Bureau of Transportation Statistics, 1998, S. 1 - 20.
- Gordon, P., Richardson, H. W., und Davis, B.: *Transport-Related Impacts of the Northridge Earthquake*, in: Journal of Transportation and Statistics, 1, Bureau of Transportation Statistics, 1998, S. 21 - 36.
- Kuchenbecker, K.: *Strategische Prognose und Bewertung von Verkehrsentwicklung mit System Dynamics*, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2000.
- Ortuzar, J. d. D. und Willumsen, L. G.: *Modelling Transport*, New York: John Wiley and Sons, 1994.
- Ott, A.: *Privatwirtschaftliche Infrastrukturkosten eines Eisenbahnunternehmens*, Baden-Baden: Nomos, 2006.
- Ratzenberger, R.: *Überprüfung langfristiger Verkehrsprognosen*, München: ADAC, 2005.
- Rommerskirchen, S. und Ickert, L.: *Zukunftstrends im Güterverkehr*, in: Güterbahnen, 3/2004, Düsseldorf: Alba Fachverlag, 2004, S. 12 - 15.
- Schnabel, W. und Lohse, D.: *Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung - Band 2*, Berlin: Verlag für Bauwesen, 1997.
- Stern, N.: *Stern Review - The Economics of Climate Change*: 2006.

United Nations ISDR : *Contexts and policy framework of disaster risk reduction: sustainable development*, in: Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives, Geneva, Switzerland: United Nations, 2004, S. 18 - 33.

Wermuth, M.: *Modellvorstellung zur Prognose*, in: Stadtverkehrsplanung, Steierwald, G. und Kühne, D. (Hrsg.), Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 1994, S. 221 - 274.

Willson, R.: *Impacts and Responses: Goods Movement After the Northridge Earthquake*, in: Journal of Transportation and Statistics, 1, Bureau of Transportation Statistics, 1998, S. 37 - 49.

Zischg, A. et al.: *Temporal variability of damage potential on roads as a conceptual contribution towards a short-term avalanche risk simulation*, in: Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 2006, S. 235 - 242.