



Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen

**Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Energie,
Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen**

Prof. Dr.-Ing. Justin Geistefeldt

Dipl.-Ing. Jan Lohoff

Mai 2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Literaturanalyse	6
2.1 Makroskopische Beschreibung des Verkehrsflusses	6
2.2 Kapazität	7
2.3 Stauentstehung und -ausbreitung	8
2.4 Definition des Begriffs „Stau“	9
2.5 Qualität des Verkehrsablaufs	10
2.5.1 Einteilung der Qualitätsstufen.....	10
2.5.2 Spezifische Stau-Indikatoren.....	10
2.6 Ausmaß und Ursachen von Staus.....	13
2.7 Staubedingte Kosten	15
2.7.1 Statistiken	15
2.7.2 Zeitkostensätze	16
2.7.3 Interne und externe Kosten	17
3. Handlungsfelder und Maßnahmen zur Stauvermeidung	19
3.1 Infrastrukturmaßnahmen	19
3.1.1 Ausbaumaßnahmen	19
3.1.2 Umnutzung von Seitenstreifen	21
3.2 Telematikeinrichtungen	21
3.2.1 Überblick.....	21
3.2.2 Netzbeeinflussung	23
3.2.3 Streckenbeeinflussung	25
3.2.4 Temporäre Seitenstreifenfreigabe	26
3.2.5 Zuflussregelung	27
3.2.6 Variable Fahrstreifenzuteilung	28
3.2.7 Datenerfassung	28
3.2.8 Verkehrszentrale	29
3.3 Straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen	29
3.3.1 Geschwindigkeitsbeschränkungen	29
3.3.2 Lkw-Überholverbote	30
3.3.3 Markierung und Wegweisung	30
3.4 Baustellenmanagement.....	31
3.5 Störungsmanagement	32
3.6 Mobilitätsmanagement	32
3.6.1 Übersicht	32
3.6.2 Betriebliches Mobilitätsmanagement.....	32
3.6.3 Intermodale Angebote	33
3.6.4 Differenzierte Mautbepreisung	33
3.6.5 HOV-Lanes	35

3.7	Verkehrsinformation und Navigation	35
3.7.1	Erweiterung der Datengrundlage.....	35
3.7.2	Optimierung der Meldekette	35
3.8	Neue Technologien	37
3.8.1	Fahrerassistenzsysteme.....	37
3.8.2	Kooperative Telematiksysteme	38
4.	Methodik der empirischen Datenanalyse.....	39
4.1	Untersuchungsansatz.....	39
4.2	Datengrundlagen.....	40
4.3	Datenauswertung	42
4.4	Staukenngrößen.....	44
5.	Ergebnisse.....	47
5.1	Ausmaß und Ursachen der Staus auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen	47
5.2	Engpässe im Autobahnnetz	50
6.	Maßnahmen zur Verbesserung der Stausituation	54
6.1	Allgemeine Maßnahmen	54
6.2	Engpassbezogene Maßnahmen	59
7.	Zusammenfassung	63
Literatur	66	
Anhang: Kartendarstellung der abschnittsbezogenen Staudauern	73	

1. Einleitung

Aufgrund seiner Lage im Schnittpunkt wichtiger Verkehrsachsen, der hohen Siedlungsdichte im Ballungsraum Rhein-Ruhr und der damit verbundenen Belastung der Verkehrsnetze ist das Land Nordrhein-Westfalen in besonderem Maße von Verkehrsstaus auf Autobahnen betroffen. Staus führen zu einer erheblichen Einschränkung der Verkehrsqualität für den Autofahrer, belasten die Umwelt, beeinträchtigen die Verkehrssicherheit und verursachen dementsprechend hohe volkswirtschaftliche Kosten. Regelmäßig auftretende Staus werden durch eine zu geringe Kapazität der baulichen Infrastruktur, z.B. durch Engstellen auf Streckenabschnitten oder an Knotenpunkten, verursacht. Darüber hinaus führen temporäre Kapazitätseinschränkungen, z.B. an Unfallstellen oder durch Witterungseinflüsse, zu Staus, die für den Autofahrer nicht oder nur eingeschränkt vorhersehbar sind und damit insbesondere die Planbarkeit der Fahrtzeit stark beeinträchtigen.

Nordrhein-Westfalen ist mit 17,85 Mio. Einwohnern das bevölkerungsreichste und gleichzeitig mit 524,3 Einwohnern/km² das am dichtesten besiedelte Flächenland der Bundesrepublik Deutschland (IT.NRW, 2011). Der Ballungsraum Rhein-Ruhr zählt mit rund 10 Millionen Einwohnern zu den 30 größten Metropolregionen der Welt. Aufgrund seiner zentralen Lage in Deutschland und auch im europäischen Wirtschaftsraum, seiner hohen Bevölkerungsdichte und seiner Wirtschaftskraft verfügt Nordrhein-Westfalen über ein sehr dichtes Verkehrsnetz und zählt zu den am stärksten urbanisierten Räumen Europas.

Der Personenverkehr auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen hat seit 1980 um rund 50 % zugenommen (Bild 1-1). Während u.a. aufgrund der wirtschaftlichen Entwicklung und des Bevölkerungswachstums durch Wanderungsbewegungen infolge der deutschen Einheit in den späten 1980er und den frühen 1990er Jahren erhebliche Zuwachsrate zu verzeichnen waren, ist der Personenverkehr in den letzten 10 Jahren nahezu konstant geblieben. Im Gegensatz dazu hat der Güterverkehr – abgesehen vom Einbruch im Jahr 2009 aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise – in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen. Während die Verkehrsleistung im Eisenbahn-Güterverkehr und der Binnenschifffahrt dabei eher rückläufig ist, hat sich der Güterverkehr auf den Autobahnen seit 1980 fast verdoppelt. Vor dem Hintergrund des anhaltenden Trends zu einer arbeitsteiligen Wirtschaft und der zunehmenden Verflechtung der europäischen Wirtschaftsräume wird ein weiterer Anstieg des Schwerverkehrs in Deutschland um rund 80 % bis zum Jahr 2025 prognostiziert (ITP, BVU, 2007).

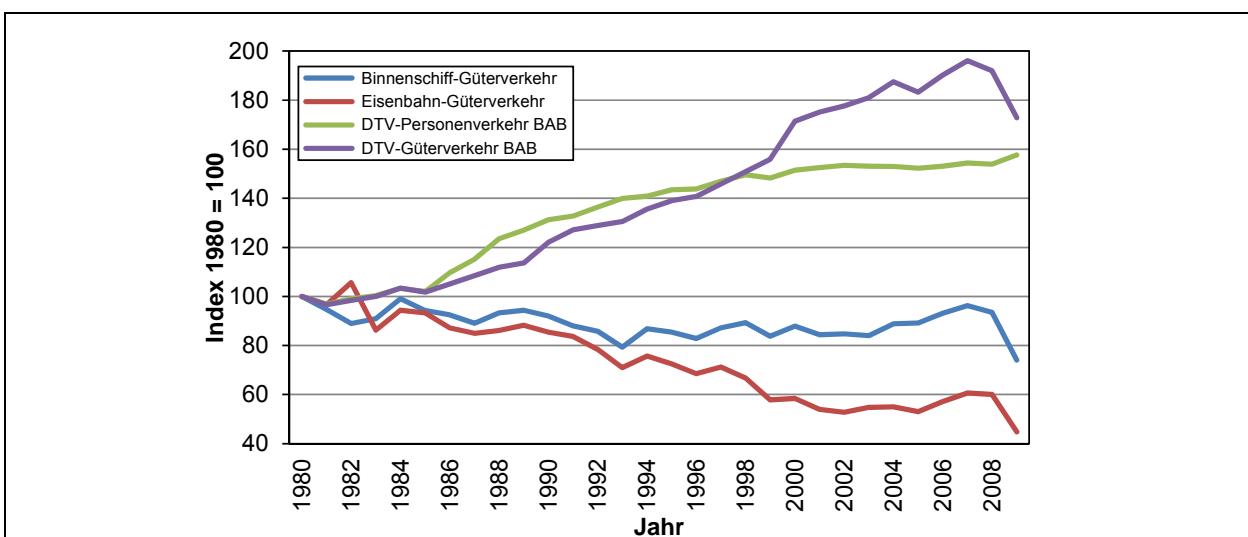


Bild 1-1: Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in Nordrhein-Westfalen (MWEBWV NRW, 2010)

Die Autobahnen im Land Nordrhein-Westfalen haben eine Gesamtlänge von rund 2.200 km. Aufgrund der polyzentrischen Struktur des Ballungsraumes Rhein-Ruhr weist das Autobahnnetz in diesem Bereich eine sehr engmaschige Struktur auf. Allerdings konnte der Ausbau des Autobahnnetzes mit der Zunahme des motorisierten Individualverkehrs und insbesondere des Schwerverkehrs in den vergangenen Jahrzehnten nur teilweise Schritt halten. Gravierende Engpässe im Autobahnnetz ergeben sich insbesondere durch

- die Überlagerung sehr starker Fern- und Pendlerverkehrsströme auf dem Kölner Ring (Autobahnen A 1, A 3 und A 4),
- die fehlende West-Ost-Verbindung im südlichen Ruhrgebiet, die zu sehr hohen Verkehrsbelastungen auf den nördlich bzw. südlich gelegenen Autobahnen A 40 und A 46 führt,
- die fehlende Nord-Süd-Verbindung im mittleren Ruhrgebiet (geplanter Lückenschluss der A 52 zwischen Dreieck Essen-Ost und Gladbeck), die hohe Verkehrsbelastungen im nachgeordneten Netz (insbesondere Bundesstraße B 224) und eine teilweise Verlagerung der Verkehrsströme auf die westlich gelegene Autobahn A 3 zur Folge hat.

Darüber hinaus führen laufende Ausbaumaßnahmen an wichtigen Autobahnen wie z.B. der A 1 und A 3 im Zuge des Kölner Rings, der A 1 Wuppertal – Köln, der A 2 Bielefeld – Dortmund und der A 40 Bochum – Essen derzeit zu erheblichen Behinderungen für die Verkehrsteilnehmer.

Ziel der vorliegenden Studie ist die Ermittlung des Ausmaßes und der Ursachen von Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen, um darauf aufbauend Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Stausituation ableiten zu können. Ausgangspunkt der Untersuchung ist eine umfassende Analyse nationaler und internationaler Literaturquellen zur Entstehung und Beschreibung von Staus auf Autobahnen sowie zur Quantifizierung der Auswirkungen von Staus anhand verkehrstechnischer und volkswirtschaftlicher Parameter. Darüber hinaus werden anhand dokumentierter Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Praxis mögliche Handlungsfelder zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Staus auf Autobahnen definiert und bewertet.

Die empirische Analyse des Staugeschehens auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen erfolgt auf der Grundlage umfangreicher Verkehrsdaten von Dauerzählstellen aus dem Jahr 2010. Anhand dieser Daten werden für alle Abschnitte des Autobahnnetzes, die über eine automatische Verkehrserfassung verfügen, die Häufigkeit von Staus sowie die durch Staus verursachten Zeitverluste ermittelt. Die Analyse der maßgebenden Stauursachen erfolgt durch eine Verknüpfung der Verkehrsdaten mit Baustellen- und Unfalldaten. Zur Plausibilisierung der Ergebnisse werden darüber hinaus Störungsmeldungen der Landesmeldestelle einbezogen.

Im Ergebnis der empirischen Untersuchungen werden die wesentlichen Engpässe im Autobahnnetz identifiziert und hinsichtlich des Ausmaßes und der Ursachen der dort auftretenden Überlastungen bewertet. Für jeden Engpassbereich werden mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation angegeben. Die Durchführung von detaillierten Verkehrsuntersuchungen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Studie, insofern bleibt eine Bewertung der Anwendbarkeit und der Potenziale der möglichen Einzelmaßnahmen weiteren Untersuchungen vorbehalten. Neben den Betrachtungen lokaler Engpässe werden allgemeine Maßnahmen vorgeschlagen, mit denen die Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen insgesamt verbessert werden kann.

2. Literaturanalyse

2.1 Makroskopische Beschreibung des Verkehrsflusses

Der Verkehrsfluss auf Straßen kann allgemein durch die makroskopischen Parameter Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit beschrieben werden. Zu unterscheiden sind lokale und momentane Größen. Die Verkehrsstärke q und die mittlere lokale Geschwindigkeit \bar{v}_l werden lokal an einem Querschnitt ermittelt, wohingegen die Verkehrsdichte k und die mittlere momentane Geschwindigkeit \bar{v}_m aus der momentanen Beobachtung eines festen Streckenabschnitts resultieren. In einem stationären Verkehrszustand sind die Kenngrößen q , k und \bar{v}_m durch die Zustandsgleichung verknüpft:

$$q = k \cdot \bar{v}_m \quad (2-1)$$

Demnach müssen nur zwei der drei Größen q , k und \bar{v}_m bekannt sein, um die Zusammenhänge zwischen den Kenngrößen vollständig zu beschreiben. Da die momentane Geschwindigkeit als Schätzwert für die Reisegeschwindigkeit verwendet werden kann, ist dieser Kennwert im Vergleich zur lokalen Geschwindigkeit von größerer Bedeutung und wird daher oft vereinfachend mit v bezeichnet.

Aus dem Verhalten der Verkehrsteilnehmer resultieren typische empirische Zusammenhänge zwischen der Verkehrsstärke, der Verkehrsdichte und der mittleren momentanen Geschwindigkeit. Wegen der Abhängigkeit der mittleren Kfz-Geschwindigkeit vom Schwerverkehrsanteil wird im Allgemeinen die mittlere Pkw-Geschwindigkeit verwendet. Funktionale Zusammenhänge zwischen q , k und v können durch die Anpassung von Verkehrsflussmodellen mittels Regressionsrechnung ermittelt werden. Bild 2-1 stellt die Beziehung zwischen den Kenngrößen q , k und v am Beispiel einer zweistreifigen Richtungsfahrbahn (Autobahn A 45 zwischen Schwerte-Ergste und Westhofener Kreuz) graphisch dar.

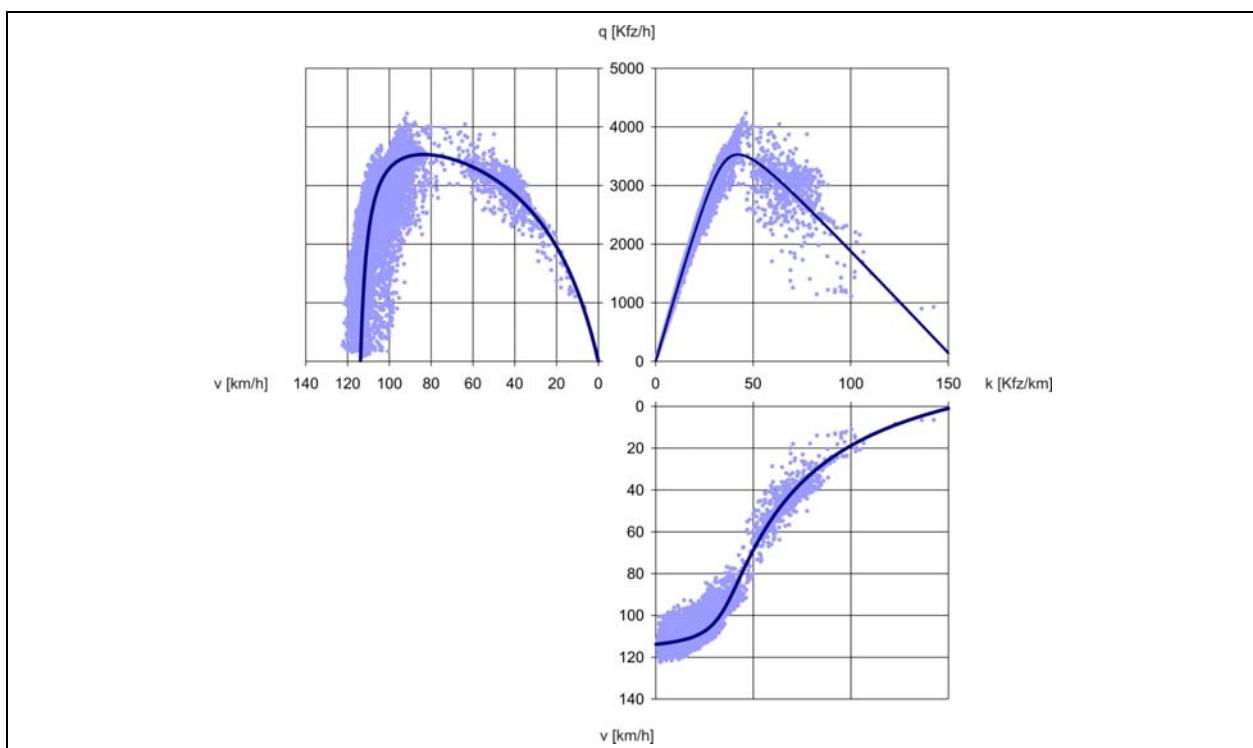


Bild 2-1: Empirischer Zusammenhang zwischen den makroskopischen Kenngrößen q , v und k in Stundenintervallen und angepasste Modelfunktion (Quelle: BRILON, GEISTEFELDT, 2010)

Für die Analyse des Verkehrsablaufs und die Dimensionierung von Straßenquerschnitten wird üblicherweise das q-v-Diagramm verwendet. Sofern an der betrachteten Messstelle die gesamte Bandbreite der möglichen Verkehrszustände bis hin zur Überlastung beobachtet wurden, ergibt sich im q-v-Diagramm eine asymmetrisch parabelförmige Punktewolke. Der obere Ast der Parabel repräsentiert den fließenden Verkehr, der untere Ast kennzeichnet den zähfließenden und gestauten Verkehr. Die Grenzgeschwindigkeit zwischen dem fließenden und dem zähfließenden bzw. gestauten Verkehr liegt auf deutschen Autobahnen üblicherweise in einer Größenordnung von 70 bis 80 km/h, bei Abschnitten mit Geschwindigkeitsbeschränkung auch darunter. Teilweise wird auch eine feinere Unterscheidung von Verkehrszuständen vorgenommen, vgl. z.B. KIM, KELLER (2001) und REGLER (2004).

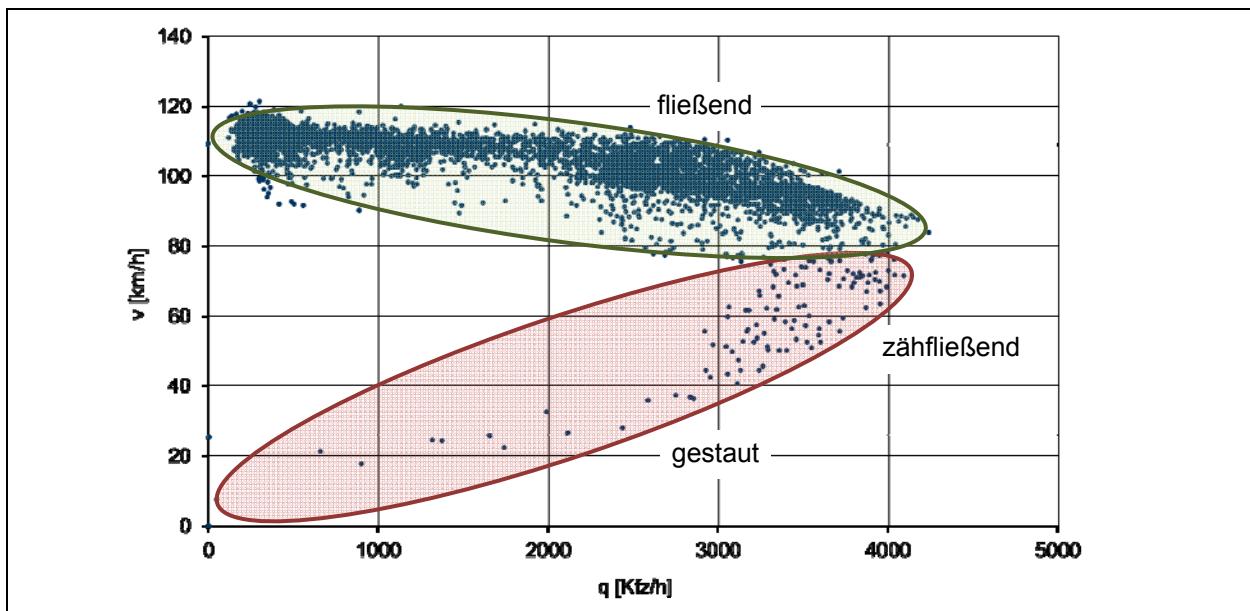


Bild 2-2: Verkehrszustände im q-v-Diagramm (zweistufige Richtungsfahrbahn, Stunden-Intervalle)

2.2 Kapazität

Nach den Begriffsbestimmungen der FGSV (2000) ist die Kapazität einer Straße definiert als die „größte Verkehrsstärke, die ein Verkehrsstrom bei gegebenen Weg- und Verkehrsbedingungen an dem für ihn bestimmten Querschnitt erreichen kann“. In den Bemessungsverfahren des HBS (2001) wird die Kapazität als fester Wert aufgefasst. Bei der makroskopischen Beschreibung des Verkehrsablaufs durch ein Verkehrsflussmodell entspricht die Kapazität der Verkehrsstärke im Bereich des Scheitelpunkts der q-v-Beziehung.

Die Kapazität einer Autobahn ist von zahlreichen systematischen Einflussfaktoren abhängig. Dazu zählen insbesondere (vgl. HBS, 2001):

- Fahrstreifenanzahl,
- Längsneigung,
- Verkehrszusammensetzung (Schwerverkehrsanteil),
- Zusammensetzung des Fahrerkollektivs (repräsentiert durch die Lage der Strecke innerhalb oder außerhalb von Ballungsräumen),
- Geschwindigkeitsregelung,
- Witterungsbedingungen und Helligkeitsverhältnisse.

Darüber hinaus wird die Kapazität auch durch den Verkehrszustand systematisch beeinflusst. Verschiedene Untersuchungen (HALL, AGYEMANG-DUAH, 1991; BANKS, 1991; PONZLET, 1996; BRILON e.a., 2005) haben gezeigt, dass der maximale Stauabfluss nach einem Zusammenbruch des Verkehrsflusses geringer ist als die Kapazität bei fließendem Verkehr. Dieser Effekt wird auf das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer bei Stauauflösung zurückgeführt. Der Rückgang der Kapazität wird als „capacity-drop“ bezeichnet. Das Ausmaß des „capacity-drop“ ist jedoch uneinheitlich und weist keine eindeutigen Gesetzmäßigkeiten auf (REGLER, 2004).

Neuere Untersuchungen (z.B. MINDERHOUD e.a., 1997; BRILON e.a., 2007) zeigen, dass die Kapazität von Autobahnen auch unabhängig von äußeren, systematischen Einflüssen erheblich variieren kann und daher als Zufallsgröße aufzufassen ist. Dies bedeutet, dass die Kapazität nicht durch einen festen Wert, sondern durch eine Verteilungsfunktion repräsentiert wird. Die Verteilungsfunktion der Kapazität $F_C(q)$ ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass es bei der Verkehrsstärke q zu einem Zusammenbruch des Verkehrsflusses kommt:

$$F_C(q) = p(C \leq q) \quad (2-2)$$

mit C = Kapazität [Kfz/h]
 q = Verkehrsstärke [Kfz/h]

Die stochastischen Eigenschaften der Kapazität sind für das Verkehrsmanagement vor allem deswegen von Bedeutung, weil verschiedene Untersuchungen (STÖCKER, TRUPAT, 2001; PISCHNER e.a., 2003; GEISTEFELDT, 2009) gezeigt haben, dass mit Zuflussregelungs- und Streckenbeeinflussungsanlagen die Varianz der Kapazität unabhängig von der mittleren Kapazität signifikant beeinflusst wird. Die geringere Varianz der Kapazität führt dazu, dass bei hohen Verkehrsstärken die Wahrscheinlichkeit eines Verkehrszusammenbruchs sinkt und damit in der Regel länger ein stabiler Verkehrszustand aufrecht erhalten werden kann.

2.3 Stauentstehung und -ausbreitung

Staus entstehen, wenn die Verkehrsnachfrage die (momentane) Kapazität einer Verkehrsanlage überschreitet. Dabei wird die Verkehrsnachfrage als die Stärke des an der betrachteten Verkehrsanlage ankommenden Verkehrs definiert, während die Verkehrsstärke den abfließenden Verkehr beschreibt. Aus der Definition der Kapazität folgt, dass die Verkehrsstärke nie größer als die Kapazität sein kann.

Die Entstehung eines Staus auf einer Autobahn ist üblicherweise mit einem plötzlichen Rückgang der Geschwindigkeiten verbunden. Der Übergang vom fließenden in den gestauten Verkehr wird als „Zusammenbruch“ des Verkehrsflusses bezeichnet. Zusammenbrüche treten üblicherweise an Engstellen auf, an denen sich die Kapazität der Autobahn permanent (z.B. Fahrstreifenreduktion) oder temporär (z.B. Fahrstreifensperrung aufgrund eines Unfalls) ändert oder die Verkehrsnachfrage zunimmt (z.B. Zufahrt einer Anschlussstelle).

Nach dem Zusammenbruch bildet sich stromaufwärts der Engstelle ein Rückstau, der sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu ca. 20 km/h entgegen der Fahrtrichtung ausbreitet. Die Stauausbreitung weist dabei in Abhängigkeit von der Art der Engstelle und weiteren Randbedingungen bestimmte Regelmäßigkeiten auf, die in verschiedenen Untersuchungen (z.B. KERNER, 2009; TREIBER, KESTING, 2010) beschrieben und kategorisiert wurden. Zur Modellierung der Stauausbreitung wurden zahlreiche Ansätze entwickelt und in Simulationsanwendungen eingesetzt. Dazu zählen insbesondere Kontinuumsmodelle (Lighthill, Witham, 1955; Richards, 1956) sowie zellenbasierte Modelle (NAGEL, SCHRECKENBERG, 1992; DAGANZO, 1994).

2.4 Definition des Begriffs „Stau“

Ein Stau ist ein vorübergehender Verkehrszustand, der entweder durch eine zu hohe Verkehrsnachfrage in den Spaltenstunden oder durch einen Kapazitätsrückgang infolge eines temporären Ereignisses (z.B. Baustelle, Unfälle, ungünstige Witterungsbedingungen) verursacht wird. Dabei sind zu unterscheiden:

- regelmäßig wiederkehrende Überlastungen, die in Spaltenstunden aufgrund eines – im Vergleich zur Verkehrsnachfrage – unzureichenden Kapazitätsangebots entstehen,
- unvorhersehbar auftretende Überlastungen, die entweder durch zufällig auftretende Störungen wie z.B. Unfälle oder durch geplante, aber für den Verkehrsteilnehmer im Vorfeld nicht absehbare Eingriffe in den Verkehrsablauf (z.B. Arbeitsstellen kürzerer Dauer) verursacht werden.

Regelmäßig wiederkehrende Staues sind vor allem ein regionales Problem, welches sich im Wesentlichen auf bestimmte Streckenabschnitte in dicht besiedelten Ballungsräumen beschränkt (vgl. BOVY, SALOMON 1998). Für die betroffenen Verkehrsteilnehmer bedeuten Stauscheinungen aufgrund von Geschwindigkeitsrückgängen und damit verbundenen Reisezeitverlusten einen Rückgang der Qualität des Verkehrsablaufs.

In der öffentlichen Debatte werden Staues vor allem als losgelöste Erscheinung gesehen, ohne dessen Komplexität näher zu betrachten. Für eine detaillierte Betrachtung des Begriffs Stau ist es jedoch unumgänglich, zwischen den unterschiedlichen Arten und Entstehungsgründen von Stau zu differenzieren (vgl. SCHALLABÖCK, PETERSEN 1998). Zum Beispiel sind die Gründe für den Rückstau an einer Signalanlage nicht zu vergleichen mit Staues auf der unbeeinflussten Autobahn.

Aufgrund der unterschiedlichen Ursachen und Auswirkungen sind unterschiedliche Definitionen für Verkehrsstaus denkbar. Nach GERONDEAU (1998) können mindestens fünf Definitionen mit teilweise unterschiedlichen Bedeutungen angegeben werden:

1. Der Begriff Stau kann einem nicht flüssigen Verkehrsfluss zugeordnet werden.
2. Stau tritt ein, wenn die mittlere Geschwindigkeit in einem Zeitintervall unter einen Grenzwert sinkt.
3. Staues können anhand der wirtschaftlichen Kosten identifiziert werden, die anfallen, wenn der Verkehrsfluss ein „normales Level“ übersteigt, d.h. wenn die Nachfrage die Kapazität überschreitet.
4. Stau kann als eine Situation betrachtet werden, in der die Nachfrage die Kapazität überschreitet.
5. Der Nutzer kann eine individuelle und qualitative Staudefinition festlegen.

In Abhängigkeit von der Perspektive des Betrachters kann Stau als ein verkehrstechnisches Problem, ein wirtschaftliches Problem oder einfach nur als eine Reduktion der Service-Qualität betrachtet werden. SCHALLABÖCK und PETERSEN (1998) betonen den letztgenannten Aspekt durch die Definition von Stau als eine „Reduktion der Servicequalität der Infrastruktur aufgrund von Überlastungen oder anderen Gründen.“ BOVY und SALOMON (1998) hingegen betrachten den Stau aus einer mehr verkehrstechnischen Perspektive und definieren Stau als einen „Zustand des Verkehrsflusses auf einer Verkehrsanlage, der durch eine im Vergleich zum Referenzzustand hohe Dichte und niedrige Geschwindigkeiten geprägt ist“.

2.5 Qualität des Verkehrsablaufs

2.5.1 Einteilung der Qualitätsstufen

Eine differenzierte Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Autobahnen wie auch auf Stadt- und Landstraßen kann nicht allein über die Unterscheidung von fließendem Verkehr und Stau erfolgen. Zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs aus Nutzersicht hat sich das Level-of-Service- (LOS-) Konzept des US-amerikanischen Highway Capacity Manual (HCM, 1950, 2000) weltweit – u.a. auch im deutschen Regelwerk (HBS, 2001) – etabliert. Dabei wird die Qualität des Verkehrsablaufs mit Hilfe einer Benotungsskala in sechs Qualitätsstufen von A bis F bewertet (Tab. 2-1). Die Stufen A bis D beschreiben eine sehr gute bis ausreichende Verkehrsqualität. Qualitätsstufe E repräsentiert einen instabilen Verkehrszustand nahe der Kapazitätsgrenze, während die Verkehrsanlage bei Stufe F überlastet ist.

LOS A	LOS B	LOS C	LOS D	LOS E	LOS F
excellent (sehr gut)	good (gut)	average (durchschnittlich)	sufficient (ausreichend)	insufficient/ capacity (mangelhaft)	overload/ congestion (Überlastung)

Tab. 2-1: Levels of Service (LOS) nach HCM (2000)

Die Einteilung des beobachteten Verkehrsablaufs in die Qualitätsstufen erfolgt je nach Typ der Verkehrsanlage nach spezifischen Qualitätsmaßen, mit denen die jeweiligen Besonderheiten der Anlage berücksichtigt werden. In Tab. 2-2 sind die Qualitätsmaße des HCM (2000) und des HBS (2001) zusammengefasst. Für Strecken von Autobahnen sowie planfreie Knotenpunkte wird im HBS der Auslastungsgrad als Maß der Qualität des Verkehrsablaufs verwendet.

Element	Qualitätsmaße nach HCM 2000	Qualitätsmaße nach HBS 2001
Autobahn (Strecke)	Verkehrsdichte [Fz/km]	Auslastungsgrad [-]
Planfreie Knotenpunkte: Rampe, Ein- und Ausfahrten	Verkehrsdichte [Fz/km]	Auslastungsgrad [-]
Planfreie Knotenpunkte: Verflechtungsstrecken	Geschwindigkeit [km/h]	
Landstraße	Geschwindigkeit [km/h], Zeitanteil in Kolonnen [-]	Verkehrsdichte [Fz/km]
Stadtstraße	Geschwindigkeit [km/h]	–
Knotenpunkt mit LSA	Wartezeit [s]	Wartezeit [s]
Knotenpunkt ohne LSA	Wartezeit [s]	Wartezeit [s]

Tab. 2-2: Qualitätsmaße für unterschiedliche Straßentypen nach dem HCM (2000) und dem HBS (2001)

2.5.2 Spezifische Stau-Indikatoren

Die Auswirkungen von Staus auf die Verkehrsqualität können für den Nutzer als das wichtigste Kriterium für die Qualität des Verkehrsablaufs betrachtet werden. Allerdings erlauben die konventionellen Qualitätsstufen-Einteilungen für Autobahnen keine ausreichend detaillierten Aussagen über die Stau-Problematik. Insbesondere die Klassifizierung der Übersättigung im Bereich von LOS F erfordert eine weitere Differenzierung (vgl. MAY, 1998; BRILON, 2000; BRILON, ESTEL, 2008).

In der Vergangenheit wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die detailliertere Indikatoren zur Beschreibung von Staus liefern. So werden in LITMAN (2003) die in Tab. 2-3 dargestellten Stau-Indikatoren angegeben. Häufig verwendete Performanceindizes zur Bewertung der betrieblichen Effizienz von Autobahnen in den Bundesstaaten der USA wurden von SHAW (2003) zusammengestellt (Tab. 2-4). Viele der verfügbaren Ansätze konzentrieren sich auf die Auswirkungen von Staus, wie zum Beispiel die Summe der Zeitverluste pro Jahr oder die volkswirtschaftlichen Kosten von Staus. Allerdings basiert die Schätzung der Auswirkungen von Staus oft auf Vergleichen zu einem angenommenen Referenzwert, so dass in vielen Fällen die Ergebnisse weder verlässlich noch vergleichbar sind (BOVY, SALOMON 1998).

Die Genauigkeit und Anwendbarkeit der Stau-Indikatoren in empirischen Analysen ist maßgebend von der Datenverfügbarkeit einschließlich der jeweils benötigten Bezugsgrößen abhängig. In der vorliegenden Untersuchung werden im Wesentlichen makroskopische, lokal erfasste Verkehrsdaten verwendet, so dass in erster Linie kollektive Stau-Indikatoren, die den Verkehrsfluss direkt charakterisieren, in Frage kommen. Die Quantifizierung des Ausmaßes der Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen erfolgt daher im Wesentlichen anhand der räumlich-zeitlichen Stauausdehnung, d.h. der Verknüpfung der Staudauer und der Staulänge (gestaute Straßenkilometer), sowie der Summe der Verlustzeiten infolge von Staus.

Indikator	Beschreibung
Fahrtzeit-Index	Verhältnis von Fahrtzeiten bei Spitzenbelastungen zu Fahrtzeiten bei geringer Belastung
Anteil der Reisezeit im gestauten Verkehr	Prozentualer Anteil der Fahrzeug- oder Personen-Reisezeit im gestauten Verkehr
Straßenkilometer im Stau	Summe der Straßenkilometer, die in den Spitzenstunden gestaut sind
Summe der gestauten Straßenkilometer	Die Summe der Straßenkilometer im gestauten Verkehr
Summe der Stau-Zeit	Summe der Zeit, in denen ein gestauter Verkehrsfluss vorherrscht
Summe der Verlustzeiten pro Jahr	Summe der durch Stau verursachten zusätzlichen Fahrtzeiten pro Jahr
Jährliche Verlustzeiten pro Einwohner	Summe der durch Stau verursachten zusätzlichen Fahrtzeiten pro Jahr und Einwohner
Jährliche Verlustzeiten pro Straßennutzer	Summe der durch Stau verursachten zusätzlichen Fahrtzeiten pro Jahr und Straßennutzer
Zusätzlicher Treibstoffverbrauch	Zusätzlicher Treibstoffverbrauch aufgrund von Stau
Zusätzlicher Treibstoffverbrauch pro Einwohner	Zusätzlicher Treibstoffverbrauch aufgrund von Stau pro Einwohner
Staukosten pro Jahr	Summe aus: Zusätzliche Fahrtzeit aufgrund von Stau multipliziert mit den Zeitkosten-Index und zusätzlicher Treibstoffverbrauch
Staukosten pro Einwohner	Summe aus: Zusätzliche Fahrtzeit aufgrund von Stau multipliziert mit den Zeitkosten-Index und zusätzlicher Treibstoffverbrauch pro Einwohner
Mittlere Geschwindigkeit	Mittlere Geschwindigkeit auf einem Streckenabschnitt
Mittlere Fahrtzeit für Pendler	Mittlere Fahrtzeit von Fahrten zur Arbeit
Mittlere Fahrtzeit pro Fahrzeug	Mittlere Fahrtzeit aller Verkehrsteilnehmer

Tab. 2-3: Stau-Indikatoren auf Straßen (nach LITMAN 2003)

Bewertungskriterium	Definition
Sicherheitsrelevante Verstöße von Nutzfahrzeugen	Anzahl von festgestellten Verstößen abhängig von Fahrzeuggewicht, -größe oder -sicherheit
Staukosten pro Kopf	Finanzielle Belastung durch Staus pro Kopf der Bevölkerung pro Jahr
Staukosten pro Fahrer	Finanzielle Belastung durch Staus pro Fahrer pro Jahr
Zeitverlust aufgrund von Unfällen	Anstieg der durchschnittlichen Reisezeit aufgrund von Unfällen
Zeitverlust pro Kopf	Anstieg der durchschnittlichen Reisezeit pro Kopf pro Jahr
Zeitverlust pro Fahrer	Anstieg der durchschnittlichen Reisezeit pro Fahrer pro Jahr
Verkehrsdichte	Pkw pro Meile pro Fahrstreifen
Staudauer	Zeitspanne, in der Stau vorgeherrscht hat
Dauer der Räumung	Reaktions- und Reisezeit von Personen, um eine Gefahrenstelle zu verlassen
Anzahl von Zwischenfällen	Verkehrsunterbrechung aufgrund von Unfällen oder anderen unplanmäßigen Ereignissen
LOS - Level of Service (Qualität des Verkehrsablaufs)	Qualitative Bewertung eines Punkts, eines Abschnitts oder eines Systems von Straßen unter Verwendung von Kriterien der Leistungsfähigkeit in den Stufen A (beste) bis F (schlechteste)
Anteil von überlasteten Abschnitten im Gesamtsystem	Prozentualer Anteil von überlasteten Meilen in Bezug auf das Gesamtsystem (im Allgemeinen nur Qualitätsstufe E oder F)
Anteil von Fahrten mit Überlastungen	Prozentualer Anteil der Fahrleistung mit Überlastungen (in Fahrzeug- oder Personen-Meilen) in Bezug auf die Gesamtfahrleistung
Unfälle an Bahnübergängen	Verkehrsunfälle an plangleichen Bahnübergängen
Wiederkehrende Zeitverluste	Anstieg der Zeitverluste aufgrund von Staus (ohne unfallbedingte Störungen)
Stauindex	Fahrzeuge im Straßenraum
Reaktionszeit bei wetterbedingten Unfällen	Benötigte Zeitspanne für das Erkennen eines Unfalls, die Bestätigung sowie für Maßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen für den nachfolgenden Verkehr
Sicherheit für Autobahn und Durchgangsverkehr	Anzahl von festgestellten Verstößen im Zusammenhang mit Gewalt gegen Reisende
Reisegeschwindigkeit	Zurückgelegte Strecke je Reisezeit
Mauteinnahmen	Gesamtsumme aus Mauteinnahmen
Verkehrsstärke	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke eines Jahres, Verkehrsstärke in der Spitzenstunde oder Verkehrsstärke während der Hauptverkehrszeit
Reisekosten	Zeitkosten während einer Fahrt und alle anfallenden Kosten aus Fahrzeugbesitz sowie -betrieb, Autobahngebühren und Zölle
Reisezeitindex	Betrag der zusätzlichen Reisezeit
Reisezeit	Zurückgelegte Strecke geteilt durch Geschwindigkeit
Zuverlässigkeit der Reisezeit	Verschiedene Definitionen möglich, z.B. Variabilität der Reisezeit; Anteil der Reisenden, die in einer akzeptablen Zeit ihr Ziel erreichen; Spanne der Reisezeiten
Zurückgelegte Fahrzeug-Meilen	Produkt aus Verkehrsstärke und Strecke
Fahrzeugbesetzung	Personen je Fahrzeug
Zusätzlich verbrauchter Kraftstoff pro Kopf	Zusätzlich verbrauchter Kraftstoff aufgrund von Staus pro Kopf
Zusätzlich verbrauchter Kraftstoff pro Fahrer	Zusätzlich verbrauchter Kraftstoff aufgrund von Staus pro Fahrer
Wetterbedingte Zwischenfälle	Verkehrsstörungen aufgrund von schlechtem Wetter

Tab. 2-4: Häufig verwendete Performanceindizes zur Bewertung der betrieblichen Effizienz von Autobahnen in den Bundesstaaten der USA (SHAW, 2003)

Die Parameter zur Stau-Identifizierung sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Bewertung der Effektivität von Verkehrsmanagement-Prozessen und -Strategien. Zum Einsatz kommen sie bei den folgenden Maßnahmen:

- Priorisierung von Projekten,
- Bewertung der Effektivität von verschiedenen Infrastruktur-Investitionen,
- Definition von verkehrspolitischen Zielen,
- Identifizierung von Trends und Entwicklungen,
- Vergleich unterschiedlicher Stau-Zustände.

Um verschiedene Aspekte des Staus zu erfassen, empfehlen SCHRANK und LOMAX (2003), unterschiedliche Indikatoren zur Bewertung von Stauerscheinungen zu verwenden. Der unsachgemäße Einsatz verschiedener Indikatoren kann jedoch nach LITMAN (2003) zu inkonsistenten Ergebnissen führen.

In Europa gibt es kein standardisiertes Verfahren, um das Ausmaß von Staus zu bewerten. Ein Grund hierfür ist, dass die EU-Mitgliedsstaaten unterschiedlich von Überlastungen betroffen sind und das Problem hauptsächlich auf die dicht besiedelten Regionen in Zentraleuropa begrenzt ist. In vielen Staaten mit geringen Verkehrsüberlastungen kommt hauptsächlich das Level-of-Service-Konzept zum Einsatz. Dagegen wird in den Niederlanden ein spezieller Ansatz angewandt, bei dem die Stauwahrscheinlichkeit als wesentliches Kriterium der Qualität des Verkehrsflusses verwendet wird (BOVY, 2002). Als Indikator wird der durchschnittliche Anteil des täglichen Verkehrs, der von Staus betroffen ist, verwendet. Im Gegensatz zu den herkömmlichen geschwindigkeitsbezogenen Methoden berücksichtigt das auf der Stauwahrscheinlichkeit basierende Verfahren sowohl Reisezeitverluste als auch die Zuverlässigkeit der Reisezeit. Die Bestimmung der Stauwahrscheinlichkeit basiert auf der Annahme, dass sowohl die Nachfrage als auch die Kapazität auf stochastischen Variablen beruhen. Ein entsprechendes probabilistisches Modell wurde von STEMBORD (1991) entwickelt.

Neben den zuvor genannten Attributen von Verkehrsstaus kann eine Verkehrsüberlastung ebenfalls als Eigenschaft eines Straßennetzes oder als Eigenschaft einer Reise betrachtet werden (BOVY, SALOMON, 1998). In offiziellen Statistiken werden häufig netzbezogene Attribute wie die Anzahl, Länge und Dauer der Staus im betrachteten Netz erfasst. Zu den auf der Reisezeit basierenden Attributen zählen der Anteil der von Stau betroffenen Fahrten, die im Stau gefahrene Zeit oder Strecke sowie der Anteil der staubedingten Verspätungen an der gesamten Reisezeit. Die Erfassung der reisezeitbezogenen Faktoren ist sehr aufwändig, ermöglicht jedoch eine detailliertere Aussage über die Auswirkungen von Verkehrsüberlastungen auf das Nutzerverhalten.

2.6 Ausmaß und Ursachen von Staus

In Auswertungen des Staugeschehens auf Autobahnen werden üblicherweise bis zu vier Hauptursachen unterschieden:

- hohes Verkehrsaufkommen,
- Baustelle,
- Unfall,
- Panne / sonstige.

Die Stauursache „Panne / sonstige“ wird aufgrund ihres geringen Anteils dabei teilweise auch mit der Ursache „Unfall“ zusammengefasst oder nicht separat ausgewiesen.

Die Stauursache „hohes Verkehrsaufkommen“ bezieht sich auf Staus, die aufgrund einer zu geringen Kapazität der baulichen Infrastruktur regelmäßig wiederkehrend an Engstellen auftreten. Permanente Engstellen im Autobahnnetz sind z.B.:

- Fahrstreifenreduktionen und -subtraktionen,
- Fahrbahnen stromabwärts von hoch belasteten Einfahrten,
- Elemente planfreier Knotenpunkte (Ein- und Ausfahrten, Rampen, Verflechtungsstrecken),
- Steigungsstrecken.

Gründe für hohes Verkehrsaufkommen können z.B. starker Berufsverkehr oder Urlaubsverkehr, aber auch Großveranstaltungen sein.

Grundlage von Staustatistiken sind in der Regel die Staumeldungen des Verkehrswarndienstes, die entweder durch die Landesmeldestellen oder durch private Anbieter erhoben werden. In Abhängigkeit von der jeweiligen Datengrundlage, der zugrunde liegenden Kennzahl (z.B. Staudauer, Stauanzahl) und dem betrachteten Netzausschnitt (z.B. Gesamtdeutschland, einzelnes Bundesland) ergeben sich allerdings erhebliche Unterschiede zwischen solchen Auswertungen. So wurde vom ADAC (2008) eine Statistik für Deutschland veröffentlicht, nach der 63 % aller Staus auf Autobahnen auf hohes Verkehrsaufkommen zurückzuführen sind (Bild 2-3a). Das Hessische Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (HLSV, 2010a) veröffentlicht jährlich eine Staubilanz für das hessische Autobahnnetz, aus der sich für das Jahr 2009 die in Bild 2-3b dargestellte Aufteilung der Stauursachen ergibt. Diese Zahlen liegen in einer vergleichbaren Größenordnung wie die des ADAC. Eine Veröffentlichung von SPARMANN (2005) ergibt demgegenüber eine deutlich ausgeglichener Verteilung der Stauursachen „hohes Verkehrsaufkommen“, „Unfall“ und „Baustelle“ (Bild 2-3c).

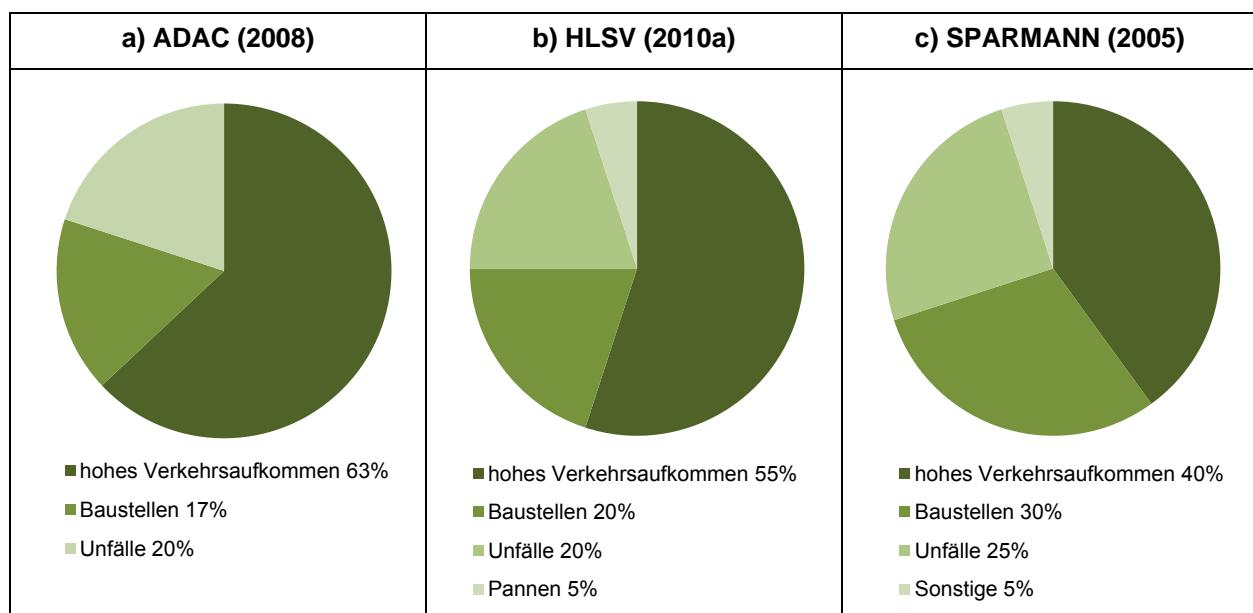


Bild 2-3: Untersuchungen zu den Ursachen von Staus auf Autobahnen (ADAC, 2008; HLSV, 2010a; SPARMANN, 2005)

Die Stausituation in 109 Ballungsräumen in Deutschland, Frankreich, Großbritannien und den Niederlanden wurde in einer Studie von INRIX (2011) verglichen. Die Studie basiert auf den GPS-Daten aus einem Zeitraum von einem Jahr, aus denen die mittleren Geschwindigkeiten auf einzelnen Teilabschnitten der Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen in den betrachteten Ballungsräumen abgeleitet wurden. Aus den Geschwindigkeiten wurden Rückschlüsse auf die

Reisezeitverluste in den Spitzentunden gezogen. Im Gegensatz zu der vorliegenden Untersuchung wurden jedoch nur einzelne Streckenabschnitte betrachtet und keine Zuordnung zu den Stauursachen durchgeführt. In einem Vergleich mit anderen europäischen Ballungsräumen liegt das Ruhrgebiet mit Zeitverlusten in den Spitzentunden von 23,2 % (bezogen auf eine Referenzgeschwindigkeit in Höhe von 85 % der Geschwindigkeit im freien Verkehr) auf dem dritten Rang hinter Paris (31,0 %) und London (25,0 %).

2.7 Staubedingte Kosten

2.7.1 Statistiken

In den letzten Jahren wurden mehrere Studien veröffentlicht, in denen die Staukosten im gesamten deutschen Straßennetz ermittelt wurden (SUMPF, FRANK, 1997; BAUM, 2002; UNITE, 2002; INFRAS, 2004). Bei diesen Studien wurden die durch Stau verursachten Zeitverluste und die zusätzlichen Fahrzeugbetriebskosten erfasst. Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung, in der nur die staubedingten Zeitverluste auf Autobahnen ermittelt werden, wurde in den genannten Studien jeweils das gesamte Straßennetz inklusive der Landstraßen und innerstädtischen Straßen erfasst.

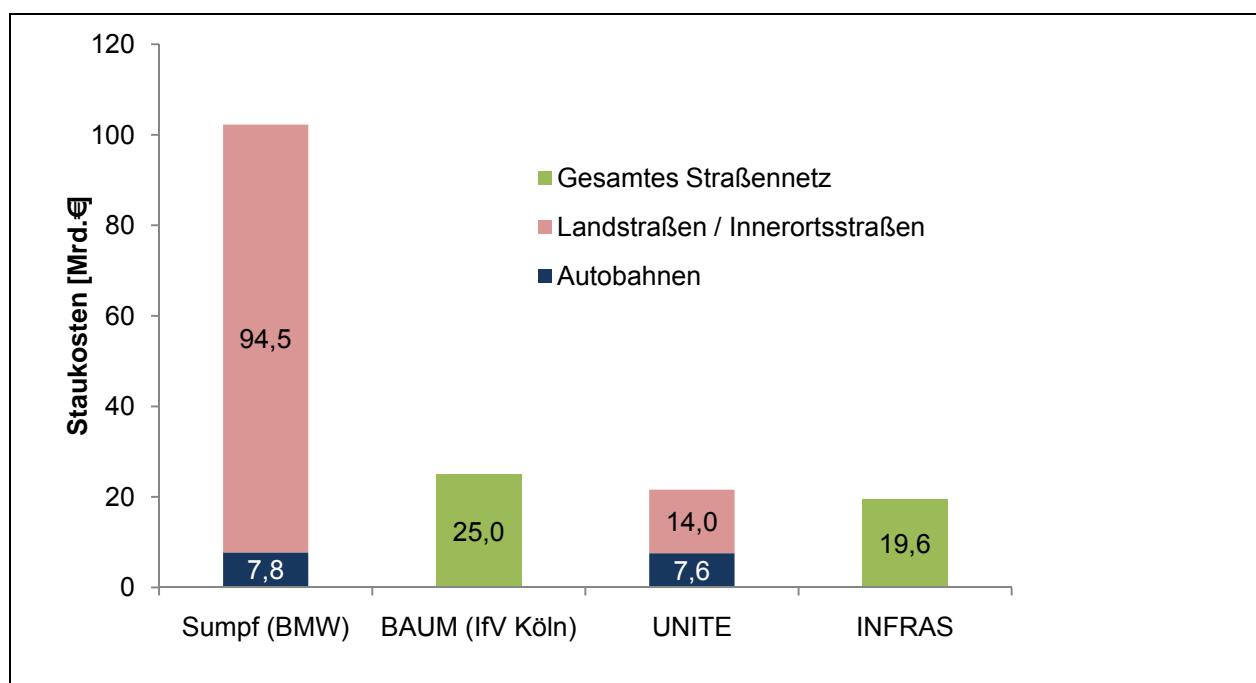


Bild 2-4: Ermittelte Staukosten für das gesamte Straßennetz in Deutschland nach SUMPF, FRANK, 1997; BAUM, 2002; UNITE, 2002; INFRAS, 2004

Die in den Studien ermittelten Kosten unterscheiden sich jedoch mit Werten zwischen 102,26 Mrd. € (SUMPF, FRANK, 1997) und 19,6 Mrd. € (INFRAS, 2004) sehr stark (vgl. Bild 2-4). Für diese erheblichen Unterschiede gibt es mehrere Gründe:

- Zeitkostensätze:

Große Unterschiede ergeben sich nach BANGE (2007) aus den sehr unterschiedlichen verwendeten Zeitkostensätzen (vgl. Abschnitt 2.7.2). So wird eine Stunde Zeitverlust im Stau für einen Geschäftsreisenden in der BMW-Studie mit 56,24 € bewertet, während in der UNITE-Studie nur 20 € angesetzt werden. Analog wird in der UNITE-Studie eine Stunde Zeitverlust für einen Reisenden im Freizeitverkehr mit 5 € und in der BMW-Studie mit 10,23 € bewertet.

- Ermittlung der Zeitverluste:

Die Berechnung der staubedingten Zeitverluste erfolgt in den Studien nach unterschiedlichen, zum Teil ohne weitere Begründung gewählten Geschwindigkeiten. Die BMW-Studie geht von einer mittleren Geschwindigkeit von 95 km/h auf Autobahnen aus und unterstellt, dass bei einer Verbesserung der Stausituation 115 km/h erreicht werden können. Die UNITE-Studie unterstellt im normalen Verkehrsablauf in ganz Deutschland pauschal eine mittlere Geschwindigkeit von 120 km/h und im Stau eine Geschwindigkeit von 20 km/h.

- Besetzungsgrad:

Bei der Anwendung von den Kostensätzen auf der Basis von Personenstunden muss zusätzlich der Pkw-Besetzungsgrad berücksichtigt werden. Während in der UNITE-Studie ein Besetzungsgrad von 2,1 Personen/Fahrzeug unterstellt wird, liegt dieser Wert in der BMW-Studie für Privatfahrten nur bei 1,3 Personen/Fahrzeug.

- Ermittlung der Staustunden:

In der UNITE-Untersuchung wird vereinfachend ein mit Hilfe des im TREMOD-Modells (IFEU, 2010) ermittelter Stauanteil von 1,66 % für das gesamte Straßennetz verwendet. In der INFRAS-Studie werden dagegen die Stau-Zeiten aus dem European-Transport-Model VACLAV übernommen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die bisherigen Untersuchungen zu den volkswirtschaftlichen Kosten von Verkehrsstaus nicht mit der vorliegenden Analyse der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen vergleichbar sind. In den bisherigen Untersuchungen wurde das gesamte Straßennetz einschließlich des nachgeordneten Netzes betrachtet, dabei wurden jedoch sehr stark vereinfachende Annahmen hinsichtlich der Fahrtzeit im gestauten Verkehr in Kauf genommen. Insbesondere in der häufig zitierten BMW-Studie (SUMPF, FRANK, 1997) wurden die Auswirkungen der tatsächlich vorhandenen Staus gar nicht berücksichtigt, so dass die ermittelten Zeitkosten nur eingeschränkt aussagekräftig und mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, die auf einer umfassenden empirischen Analyse des tatsächlichen Verkehrsgeschehens basieren, nicht vergleichbar sind.

2.7.2 Zeitkostensätze

Zeitkostensätze werden für die Monetarisierung von Reisezeiten bzw. Reisezeitverlusten im Rahmen volkswirtschaftlicher Analysen verwendet. Sie beschreiben den durchschnittlichen ökonomischen Wert der in einer Stunde durchgeföhrten Tätigkeiten (EWS, 1997). Sie sind u.a. eine wichtige Grundlage für die Nutzen-Kosten-Analyse von Investitionsmaßnahmen im Straßenbau.

Die Bewertung der Zeitverluste mit Kostensätzen wurde in einer Vielzahl von Untersuchungen betrachtet. Die ermittelten Zeitkosten unterscheiden sich je nach Untersuchungsansatz sehr stark. Für die Bewertung von Investitionsmaßnahmen im Straßenbau werden in Deutschland bislang in der Regel die Zeitkostensätze der „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (EWS, 1997) verwendet. Verschiedene neuere Untersuchungen weisen insbesondere hinsichtlich der Pkw-Zeitkosten eine starke Abweichung von den Werten der EWS auf (vgl. Tab. 2-5). Nach BAUM e.a. (1998) sind die auf dem Volkseinkommen (Nettosozialprodukt zu Faktorkosten) basierenden Werte der EWS unplausibel, da in den Kosten ebenfalls Gewinne aus der Wertschöpfung der Unternehmertätigkeit und der Vermögen (Zinsgewinne) enthalten sind. Auch die Werte der BMW-Studie (SUMPF, FRANK, 1997) sind nach BAUM e.a. sehr hoch, da der Berufsverkehr vollständig der Arbeitszeit zugerechnet wird. Des Weiteren basieren die Werte von SUMPFF und FRANK (1997) auf den Bruttolöhnen, nicht jedoch auf den nach Ansicht von BAUM e.a. aussagekräftigeren Nettolöhnen.

Fahrzeuggruppe		Zeitkosten [€/Kfz/h]					
		Normal- und Urlaubswerktage			Sonn- und Feiertage		
		PLANCO	EWS	UNITE	PLANCO	EWS	UNITE
Pkw	Dienstlich	13,29	5,62	21,92 (32,88) ¹	8,18	2,81	21,92 (32,88) ¹
	Privat/Pendler			6,23 (9,35) ¹			6,23 (9,35) ¹
	Freizeit			4,16 (6,24) ¹			4,16 (6,24) ¹
SV	Lkw	31,19	21,47	41,56	33,23	21,47	- ³
	Lastzug		30,68	44,68		30,68	- ³
	Bus		63,91	- ²		63,91	- ³

¹ in Klammern: gestauter Verkehr

² Kosten von Pkw: 2 % Dienstlich, 75 % Privat/Pendler und 22 % Freizeit

³ Keine Angaben

Tab. 2-5: Zeitkostensätze (PLANCO, 2000; EWS, 1997; UNITE, 2002)

Die Werte von PLANCO (2000) werden u.a. zur wirtschaftlichen Bewertung von Seitenstreifen-umnutzungen verwendet (ARNOLD, 2001). In der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP, 2003) werden private Personenstunden mit 3,73 € und gewerbliche Personenstunden mit 19,94 € bewertet. Unter Berücksichtigung eines mittleren Besetzungsgrades von 1,4 ergeben sich für den privaten Verkehr 5,36 € und für den gewerblichen Verkehr 27,92 € pro Stunde Zeitverlust.

Eine sehr detaillierte Aufschlüsselung der Zeitkostensätze in verschiedene Fahrtzwecke, wie sie in der UNITE-Studie und der BMW-Studie erfolgte, ermöglicht in der Theorie eine präzisere Einschätzung der Zeitkosten. In der Praxis sind jedoch in der Regel nur eine Ermittlung der Gesamtverkehrsmenge und die Unterscheidung nach Fahrzeugtyp und Wochentag möglich. Eine Differenzierung der Fahrtzwecke kann aus den verfügbaren Daten nur in wenigen Fällen erfolgen. Aus diesem Grund sind Zeitkostensätze mit einer Unterscheidung nach Wochentag und Fahrzeugtyp in der Regel besser geeignet.

2.7.3 Interne und externe Kosten

Bei der Betrachtung von Kosten des Straßenverkehrs muss zwischen internen und externen Kosten unterschieden werden. Während direkt vom Straßennutzer zu zahlende Kosten (Kraftstoff, Maut) als interne Kosten bezeichnet werden, werden die externen Kosten nicht ursächlich auf den Nutzer zurückgeführt. Diese in der Regel von der Allgemeinheit übernommenen Kosten umfassen zum Beispiel Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Fahrzeugemissionen oder die Kosten der Straßenabnutzung. Kosten, die nicht unmittelbar in einem finanziellen Gegenwert beglichen werden, werden „monetarisiert“. Während die Monetarisierung von Straßenschäden leicht nachvollziehbar ist, unterliegt die finanzielle Bewertung von Verkehrsunfällen oder Gesundheitsschäden stärkeren Diskussionen. In Tab. 2-6 sind die im Straßenverkehr anfallenden externen Kosten aufgelistet (GERIKE, 2006).

Kostenart	Einflussfaktoren	Denkbare Bemessungsgrundlage		Denkbare Differenzierungen
		Straße	Schiene, Luft, Binnenschiff	
Wegekosten	Fahrzeugtyp Fahrzeuggröße & -gewicht Fahrleistung Geschwindigkeit Infrastrukturtyp	Infrastrukturgrenzkosten pro km als kilometerabhängige Grundgebühr sowie gegebenenfalls Grundgebühr für Nutzungsoption	Gebühren gemäß Infrastrukturgrenzkosten als Untergrenze sowie gegebenenfalls Grundgebühr für Nutzungsoption	Fahrzeugkategorie
Staukosten	Verkehrsmenge Schwerverkehrsanteil Infrastrukturtyp	Differenzierte Zuschläge pro Fahrzeug nach Belastung	-	Fahrzeugkategorie Zeitpunkt Infrastrukturtyp
Unfallkosten	Fahrzeugtyp Infrastrukturtyp Geschwindigkeit Fahrverhalten (Alter, Geschlecht, Eintragungen VZR)	Erweiterung der gesetzlichen Haftpflicht um bisher ungedeckte Unfallkosten	Erweiterung der gesetzlichen Haftpflicht um bisher ungedeckte Unfallkosten	Fahrverhalten, Fahrzeugkategorie, Infrastrukturtyp
Lärmkosten	Fahrzeugtyp Verkehrsmenge Infrastrukturtyp Bebauungsart Betroffenheiten Geschwindigkeit	Kilometerabhängige Grundgebühr, Zuschlag auf Road-Pricing pro Fahrzeug in Abhängigkeit von Betroffenheiten etc.	Kilometerabhängige Grundgebühr	Fahrzeugkategorie, Infrastrukturtyp, Bebauungsart
Luftverschmutzung: • Gesundheitskosten • Gebäudeschäden • Vegetations-schäden	Fahrzeugtyp (spezifische PM10-, NO _x -Emissionen) Geschwindigkeit Fahrverhalten Infrastrukturtyp Bebauungsart (inner-, außerorts)	Differenzierte Grundgebühr, Zuschlag auf Road-Pricing pro Fahrzeug pro Tonne PM10, NO _x	Kilometerabhängige Grundgebühr, Internalisierung beim Erzeuger für Elektrotraktion Schiene	Fahrzeugkategorie, Infrastrukturtyp Bebauungsart (inner-, außerorts)
Klimaschäden	Fahrzeugtyp (spezifischer Energieverbrauch) Geschwindigkeit Fahrverhalten Infrastrukturtyp	Zuschlag auf Treibstoffpreis	Zuschlag auf Energiepreis	Fahrzeugkategorie
Natur und Landschaft Trennwirkung Flächenverbrauch	Infrastrukturtyp Verkehrsleistung	Grundgebühr pro Fz-km, Zuschlag in sensitiven Zonen	Grundgebühr	Infrastrukturtyp

Tab. 2-6: Ableitung denkbarer Bemessungsgrundlagen und Differenzierungen einer verursachergerechten Anlastung externer Kosten im Verkehr (GERIKE, 2006)

3. Handlungsfelder und Maßnahmen zur Stauvermeidung

3.1 Infrastrukturmaßnahmen

3.1.1 Ausbaumaßnahmen

Das wirksamste Mittel zur Vermeidung von Staus auf Autobahnen ist in der Regel die bauliche Beseitigung der stauverursachenden Engstellen. Vor dem Hintergrund der hohen Baukosten und der langwierigen Planungs- und Genehmigungsprozesse stellt der Ausbau jedoch oft nur eine langfristige Perspektive dar. Bei einigen Abschnitten von Autobahnen in dicht besiedelten Gebieten (z.B. Abschnitte der A 40 im Ruhrgebiet) sind darüber hinaus durch die dicht angrenzende Bebauung einer Querschnittserweiterung enge Grenzen gesetzt, so dass ein Ausbau entweder nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist.

Grundlage für eine effektive Investitionssteuerung für Ausbaumaßnahmen im Autobahnnetz ist eine detaillierte Engstellenanalyse. Dabei sind insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Strecken und Knotenpunkten zu berücksichtigen. Engstellen bewirken im Bereich von Verkehrsspitzen eine Drosselung des auf die stromabwärts liegenden Streckenabschnitte und Knotenpunkte zufließenden Verkehrs. Bei einer Ausbaumaßnahme ist daher zu beachten, dass bei einer Beseitigung der Engstelle höhere Spitzenbelastungen stromaufwärts auftreten und es zu einer Verlagerung der Überlastungen kommen kann. Vor diesem Hintergrund können Engstellen im Autobahnnetz grob in punktförmige (einzelne) und linienförmige (elementübergreifende) Engstellen unterteilt werden:

- Eine **punktförmige Engstelle** liegt vor, wenn nur ein einzelnes Element einer Autobahn eine zu geringe Kapazität aufweist, während stromabwärts der Engstelle eine höhere Kapazität verfügbar ist. Eine solche Engstelle kann z.B. eine Steigungsstrecke, ein Autobahnabschnitt mit stark erhöhter Verkehrsbelastung zwischen zwei aufeinander folgenden Knotenpunkten oder eine unzureichend dimensionierte Verflechtungsstrecke in einem Autobahnkreuz sein.
- Eine **linienhafte Engstelle** ist gegeben, wenn mehrere aufeinander folgende Elemente einer Autobahn eine zu geringe Kapazität aufweisen, so dass der Engpass nur durch einen Ausbau sämtlicher Elemente vollständig behoben werden kann. Ein solcher Fall liegt z.B. bei längeren Autobahnabschnitten zwischen Autobahnkreuzen oder -dreiecken vor, bei denen nur durch eine Querschnittserweiterung über die gesamte Strecke in Verbindung mit einem Ausbau der angrenzenden Knotenpunkte eine deutliche Verbesserung der Verkehrssituation erreicht werden kann. Sofern nur einzelne Elemente ausgebaut werden, kommt es teilweise zu einer Verlagerung der auftretenden Überlastungen. Allerdings kann auch durch einen Teilausbau eine Verbesserung der Verkehrssituation erreicht werden, sofern zunächst die Teilabschnitte mit dem höchsten Auslastungsgrad ausgebaut werden.

Die aktuellen und die projektierten Straßenbauprojekte der Bundesregierung sind im Bundesverkehrswegeplan enthalten. Im Bundesverkehrswegeplan werden ausschließlich Maßnahmen des Streckenaus- und -neubaus angegeben. Maßnahmen im Bereich der Straßenausstattung werden im Projektplan Straßenverkehrstelematik zusammengefasst (vgl. Abschnitt 3.2).

Der Bundesverkehrswegeplan wird jeweils für 15 Jahre aufgestellt. Der derzeit gültige Plan gilt von 2001 bis 2015. Er stellt einen Investitionsrahmenplan und ein Planungsinstrument dar, ohne jedoch einen Finanzierungsplan zu enthalten. Für den Zeitraum 2001 bis 2015 ergibt sich für die drei Verkehrsträger Schiene, Straße und Wasserstraße ein Finanzvolumen in der Größenordnung von 150 Mrd. €. Auf Maßnahmen an Autobahnen und Bundesstraßen im Land Nordrhein-Westfalen entfallen davon 7,9 Mrd. € im vordringlichen Bedarf sowie 2,8 Mrd. € im weiteren Bedarf. Eine Übersicht über die vorgesehenen Maßnahmen gibt Bild 3-1.

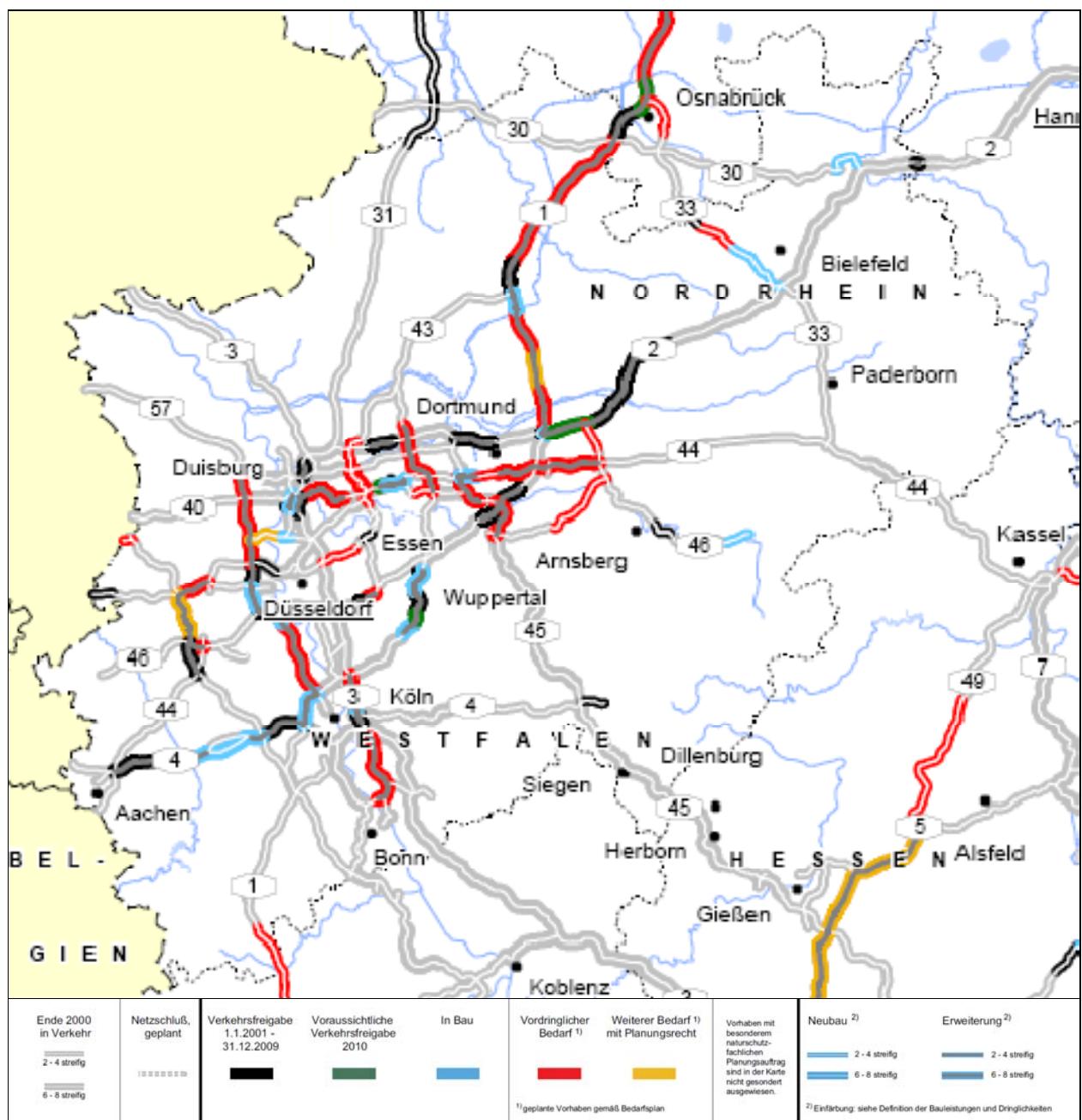


Bild 3-1: Neubau und Erweiterung von Bundesautobahnen gemäß Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen, Stand: 1. Januar 2010 (BMVBS, 2010)

Die derzeitigen Schwerpunkte der Ausbaumaßnahmen auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen betreffen insbesondere die folgenden Streckenabschnitte:

- A 1: Sechsstreifiger Ausbau im Bereich des westlichen Kölner Rings,
- A 1: Sechsstreifiger Ausbau zwischen Wuppertal und Wermelskirchen,
- A 2: Sechsstreifiger Ausbau zwischen Hamm und Kamen,
- A 3: Achtstreifiger Ausbau im Bereich des östlichen Kölner Rings,
- A 40: Sechsstreifiger Ausbau zwischen Bochum-Stahlhausen und Gelsenkirchen-Süd,
- A 57: Sechsstreifiger Ausbau zwischen Kaarst und Neuss-Süd.

3.1.2 Umnutzung von Seitenstreifen

Der Seitenstreifen einer Autobahn dient als Sicherheitsraum zum Abstellen von Pannenfahrzeugen und zur Abwicklung des Betriebsdienstes. Er hat eine große Bedeutung für die Verkehrssicherheit und ist daher unverzichtbarer Bestandteil einer Autobahn. Bei starken Überlastungen an räumlich begrenzten Engstellen kann es jedoch sinnvoll sein, den Seitenstreifen für den fließenden Verkehr freizugeben (LEMKE, 2002). Dabei wird zwischen einer temporären Seitenstreifenfreigabe, bei der der Seitenstreifen nur in den Spitzenstunden durch Wechselverkehrszeichen freigegeben wird (vgl. Abschnitt 3.2.4), und einer dauerhaften Umnutzung des Seitenstreifens unterschieden. Die dauerhafte Umnutzung des Seitenstreifens ist dabei nur bei sehr kurzen Abschnitten mit einem geringen Geschwindigkeitsniveau (z.B. durchgehende Verflechtungsstrecken im Bereich von Knotenpunkten), auf denen die temporäre Freigabe des Seitenstreifens durch Telematiksysteme mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden wäre, vertretbar. Bei längeren Abschnitten stellt die temporäre Seitenstreifenfreigabe aus Sicherheitsgründen die Regellösung dar, weil der Seitenstreifen als Sicherheitsraum außerhalb der Zeiten mit sehr hoher Verkehrsnachfrage erhalten bleibt.

3.2 Telematikeinrichtungen

3.2.1 Überblick

Der Begriff „Telematik“ leitet sich aus einer Kombination der Begriffe „Telekommunikation“ und „Informatik“. Verkehrstelematiksysteme (englisch: Intelligent Transport Systems ITS) basieren auf dem Erfassen, Übermitteln, Verarbeiten und Nutzen verkehrsbezogener Daten unter Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien. Wesentliche Ziele des Einsatzes von Telematiksystemen sind (vgl. FGSV, 2002):

- Effiziente und verträgliche Abwicklung des Verkehrs,
- Verlagerung des Verkehrs (räumlich, zeitlich, modal),
- Verringerung von Verkehrsaufwänden und Vermeidung von Verkehrsaufkommen,
- Erhöhung der Verkehrssicherheit,
- Senkung der Betriebs- und Unfallkosten,
- Verringerung der Lärm- und Schadstoffemissionen.

Neben der effizienten Ausnutzung der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur und der Erhöhung der Verkehrssicherheit gehört auch die Versorgung des Verkehrsteilnehmers mit übersichtlichen und aktuellen Informationen zu den Kernaufgaben der Telematik.

Im „Projektplan Straßenverkehrstelematik 2015“ sind die in Deutschland geplanten Projekte zum Ausbau der Telematikeinrichtungen auf Bundesautobahnen zusammengefasst, die bis zum Jahr 2015 umgesetzt werden sollen (Bild 3-2). Deutschlandweit werden im Rahmen des Projektplans rund 75 Mio. € für 30 Projekte bereitgestellt, die derzeit bereits realisiert werden. Weitere rund 133 Mio. € sollen für 32 Projekte zur Verfügung gestellt werden, die sich noch im Stadium des Vorentwurfs befinden. Für Projekte im Stadium der Voruntersuchung stehen rund 92 Mio. € zur Verfügung.

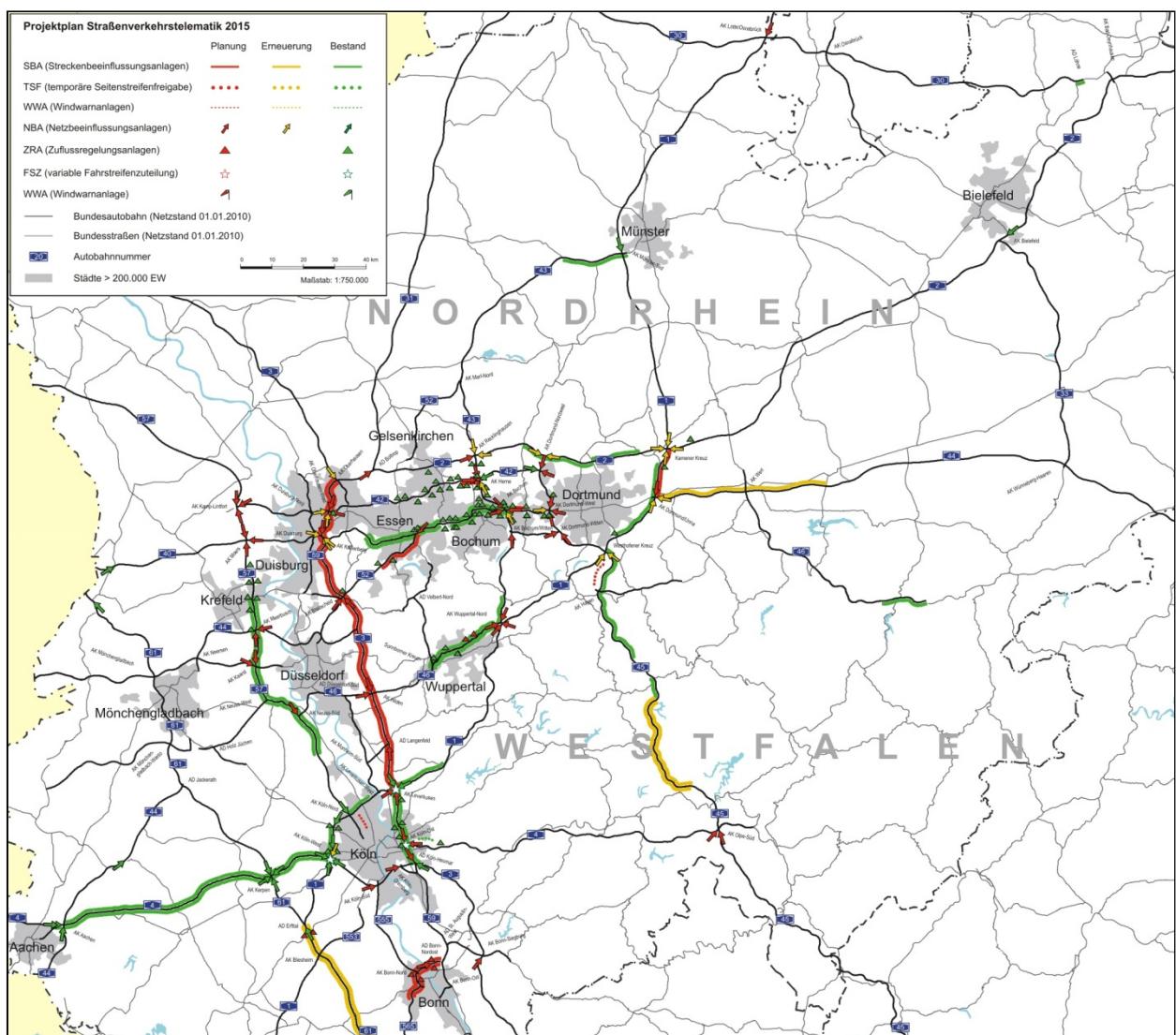


Bild 3-2: Vorhandene und geplante Telematikeinrichtungen in Nordrhein-Westfalen (BMVBS, 2011a)

Im „Projektplan Straßenverkehrstelematik“ sind im Einzelnen folgende Anlagentypen enthalten:

- Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA)
- Temporäre Seitenstreifenfreigabe (TSF)
- Windwarnanlagen (WWA)
- Netzbeeinflussungsanlagen (NBA)
- Zuflussregelungsanlagen (ZRA)
- Variable Fahrstreifenzuteilung (FSZ)

Für das Land Nordrhein-Westfalen enthält der Projektplan bis 2015 insgesamt 24 Projekte (Tab. 3-1), darunter zehn Strecken- und neun Netzbeeinflussungsanlagen. Acht Projekte befinden sich bereits in der Umsetzung.

Straße	Vorhaben	Typ	Projektphase
A 1	AK Kamener Kreuz – AK Dortmund / Unna	SBA	Umsetzung
A 1 / A 2 / A 30	Netzbeeinflussung Bottrop – Lotte/Osnabrück	NBA	Umsetzung
A 1	AK Köln-West	FSZ	Voruntersuchung
A 1	Verdichtung Verkehrsdatenerfassung BAB	VDE	Vorentwurf
A 1 / A 46	AK Wuppertal-Nord – AK Münster (Erneuerung)	NBA	Umsetzung
A 42	Herne-Wanne – Herne	SBA	Umsetzung
A 45	Hagen – Westhofen	TSF	Umsetzung
A 46	Zuflussregelungsanlagen Wuppertal	ZRA	Umsetzung
A 57	AK Köln-Nord – AS Bickendorf	TSF	Umsetzung
A 61	AD Erfttal – AK Meckenheim (Erneuerung)	SBA	Umsetzung
A 565	AD Bonn-Beuel – AS Bonn-Hardtberg	SBA/ ZRA	Vorentwurf
A 1 / A 2	Netzbeeinflussung LDC Nord	NBA	Vorentwurf
A 3 / A 4 / A 61 / A 565	Netzbeeinflussung LDC West	NBA	Voruntersuchung
A 1 / A 3 / A 43 / A 46	Netzbeeinflussung Leverkusen – Wuppertal	NBA	Voruntersuchung
A 1 / A 2 / A 3 / A 40 / A 42 / A 43 / A 44 / A 45 / A 52	Netzbeeinflussung Ruhrgebiet [2. Ausbaustufe]	NBA	Vorentwurf
A 40 / A 42 / A 57	Netzbeeinflussung Ruhrgebiet – Düsseldorf	NBA	Voruntersuchung
A 3 / A 4 / A 45	Netzbeeinflussung LDC West [2. Ausbaustufe]	NBA	Voruntersuchung
A 3	AK Oberhausen – AK Leverkusen, 1. Abschnitt	SBA	Vorentwurf
A 3	AK Oberhausen – AK Leverkusen, 2. Abschnitt	SBA	Vorentwurf
A 3	AK Oberhausen – AK Leverkusen, 3. Abschnitt	SBA	Vorentwurf
A 44/A 52/A 57	Netzbeeinflussung Düsseldorf [2. Ausbaustufe]	NBA	Voruntersuchung
A 44	AS Soest – AK Dortmund/Unna (Erneuerung)	SBA	Voruntersuchung
A 45	AS Drolshagen-Wegeringhausen – AS Lüdenscheid-Süd (Erneuerung)	SBA	Voruntersuchung
A 52	AS Essen-Kettwig – AD Essen-Ost	SBA	Voruntersuchung

Tab. 3-1: Maßnahmen des Projektplans Straßenverkehrstelematik in Nordrhein-Westfalen (BMVBS, 2011a)

3.2.2 Netzbeeinflussung

Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) leiten den Verkehr von überlasteten oder grenzbelasteten Strecken auf weniger ausgelastete Alternativrouten. Die Übermittlung der Routenempfehlung an die Kraftfahrer erfolgt über Wechselwegweiser. Ziel der Netzbeeinflussung ist die Verringerung der Auswirkungen von Überlastungen sowie die Vermeidung von Staus durch eine möglichst gleichmäßige Netzauslastung. Einsatzkriterien für eine NBA auf Autobahnen sind die Verfügbarkeit von Alternativrouten mit freien Kapazitäten und geringen Umwegen, eine hohe Störungsanfälligkeit der Hauptroute sowie ein hoher Anteil an Durchgangsverkehr.

In Deutschland waren im Jahr 2010 rund 200 Netzbeeinflussungsanlagen vor Autobahnkreuzen und an anderen Streckenabschnitten in Betrieb (BMVBS, 2011a).

Bei der Wechselwegweisung gibt es drei unterschiedliche Systeme:

- substitutive Wechselwegweisung,
- additive Wechselwegweisung,
- dWiSta.

Die substitutive Wechselwegweisung erfolgt durch Wegweiser, bei denen die Zielangaben auf drehbaren Prismen angebracht sind und dadurch ausgetauscht werden können. Nachteil dieser Technik ist, dass dem ortskundigen Verkehrsteilnehmer eine geänderte Zielführung oft gar nicht bewusst wird, da sich das äußere Erscheinungsbild des Wegweisers nicht verändert.

Im Gegensatz zur substitutiven Wechselwegweisung erhält der Verkehrsteilnehmer bei der additiven Wechselwegweisung zusätzlich zu der regulären Beschilderung Informationen über den Grund und die Art der empfohlenen Zielführung. Die additive Wegweisung wird in der Regel durch orangefarbene Pfeile visualisiert.

Als eine moderne Form der additiven Wechselwegweisung werden seit 2005 in Deutschland an wichtigen Knotenpunkten sog. „Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen“ (dWiSta, vgl. Bild 3-3) eingesetzt, die neben den Umleitungsempfehlungen auch die Ursache und das Ausmaß der Störung angeben können. Die Anzeige der Informationen erfolgt dabei über frei programmierbare LED-Matrixdisplays. In Nordrhein-Westfalen gibt es bereits über 70 dWiSta-Tafeln. Die Schaltung der Anlagen erfolgt zurzeit überwiegend manuell unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslage durch die Regionalen Verkehrsleitzentralen bei den Bezirksregierungen in Köln und Arnsberg. Es ist jedoch geplant, die Schaltempfehlungen der einzelnen dWiSta-Anlagen automatisch über ein in die Verkehrsrechnerzentrale integriertes Programm (Strategimanager) zu steuern (STRASSEN.NRW, 2011). Im Land Hessen ist ein solches System bereits erfolgreich im Einsatz (RIEGELHUTH e.a., 2010). Durch die Verknüpfung der automatisch erfassten Verkehrsdaten mit einem Verkehrsmodell können dort auch Informationen zu Fahrzeitverlusten ermittelt und angezeigt werden.



Bild 3-3: Dynamischer Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)

Wesentlicher Vorteil von dWiSta-Tafeln ist die hohe Akzeptanz bei den Verkehrsteilnehmern aufgrund des hohen Informationsgehalts. Bei kurzen Strecken und geringen Umwegen kann eine Befolgsrate von bis zu 40 % erreicht werden (FGSV, 2007; vgl. Tab. 3-2). Bei zusätzlicher Angabe von Umleitungsgründen kann die Befolgsrate auch bei größeren Umwegen noch gesteigert werden.

Charakteristik des Netzes	Maschengröße	Umwegfaktor	Befolgsraten
Kleine Masche, kurzer Umweg	< 50 km	< 1,5	30 – 40 %
Große Masche, kurzer Umweg	< 50 km	< 1,5	20 – 30 %
Kleine Masche, größerer Umweg	> 50 km	> 1,5	10 – 20 %
große Masche, größerer Umweg	> 50 km	> 1,5	0 – 10 %

Tab. 3-2: Befolgsraten bei Netzbeeinflussungsanlagen (FGSV, 2007)

3.2.3 Streckenbeeinflussung

Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) werden vor allem auf hoch belasteten Autobahnen zur Steuerung des Verkehrs eingesetzt. Mittels elektronischer Wechselverkehrszeichen, die in der Regel im Abstand von etwa 1.000 bis 2.500 m an Schilderbrücken angebracht sind, können verkehrsabhängig Geschwindigkeitsbeschränkungen und Lkw-Überholverbote sowie Warnungen vor Staus, Unfallstellen, Baustellen oder witterungsbedingten Gefahren angezeigt werden. Durch die Homogenisierung des Verkehrsablaufs und die situationsabhängige Gefahrenwarnung wird die Verkehrssicherheit erhöht und die Verfügbarkeit der Kapazität gesteigert.



Bild 3-4: Streckenbeeinflussungsanlage

Die positive Sicherheitswirkung von Streckenbeeinflussungsanlagen wurde in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesen. So wurde von SIEGENER e.a. (2000) nach der Installation einer Streckenbeeinflussungsanlage ein Rückgang der Gesamtzahl an Unfällen um etwa 25 % ermittelt. Besonders hohe Rückgänge der Unfallzahlen wurden bei Massenunfällen mit mehr als fünf Beteiligten (– 54 %) sowie bei Nebelunfällen (– 80 %) ermittelt. Bei der automatischen Erfassung von Glätte und Nässe ist es in der Vergangenheit jedoch zu Problemen gekommen.

Durch die verkehrsabhängige Anzeige von Geschwindigkeitsbeschränkungen wird im Zuge von Streckenbeeinflussungsanlagen bei hohen Verkehrsstärken eine Homogenisierung des Verkehrsablaufs erreicht (SCHICK, 2003; PISCHNER e.a., 2003). Daraus resultiert eine geringere Wahrscheinlichkeit, dass es bei hohen Verkehrsstärken ein Zusammenbruch des Verkehrsflusses eintritt. Neben der geringfügigen Steigerung der mittleren Kapazität der Autobahn wirkt sich vor allem die Verringerung der Varianz der Kapazitätsverteilung (GEISTEFELDT, 2009; vgl. Abschnitt 2.2) positiv auf das Überlastungsgeschehen aus.

3.2.4 Temporäre Seitenstreifenfreigabe

Die temporäre Freigabe des Seitenstreifens für den fließenden Verkehr ist ein wirksames Mittel, um auf häufig überlasteten Autobahnen kurzfristig zusätzliche Kapazität bereitzustellen. Die Maßnahme ermöglicht eine bedarfsgerechte Kapazitätssteuerung, indem der Seitenstreifen nur in Spitzenstunden freigegeben wird und ansonsten weiterhin als Sicherheitsraum für Pannenfahrzeuge und den Betriebsdienst zur Verfügung steht.

Die temporäre Seitenstreifenfreigabe kann im Vergleich zum regulären Ausbau oft mit relativ geringem Planungs- und Investitionsaufwand umgesetzt werden und damit auf hoch belasteten Abschnitten die Zeit bis zum Ausbau überbrücken. Im Jahr 2010 waren in Deutschland rund 210 km Richtungsfahrbahn mit einer temporären Seitenstreifenfreigabe ausgestattet (BMVBS, 2011a). In Nordrhein-Westfalen ist derzeit nur ein kurzer Abschnitt der Autobahn A 4 bei Refrath mit einer temporären Seitenstreifenfreigabe ausgerüstet.



Bild 3-5: Temporäre Seitenstreifenfreigabe

Voraussetzung für die Einrichtung einer temporären Seitenstreifenfreigabe ist eine ausreichende Tragfähigkeit des Oberbaus im Bereich des Seitenstreifens, um den Schwerverkehr aufnehmen zu können. Des Weiteren muss überprüft werden, ob der zusätzliche Verkehr, der aufgrund der höheren Kapazität der Strecke bei freigegebenem Seitenstreifen in Spitzenstunden fließen kann, auch von den stromabwärts liegenden Streckenabschnitten und Knotenpunkten aufgenommen werden kann. Andernfalls würde durch die temporäre Seitenstreifenfreigabe nur eine Verlagerung der Staus auf die stromabwärts liegenden Engpässe auftreten.

Zur Überprüfung, ob der Seitenstreifen frei von Hindernissen ist, werden dreh- und schwenkbare Kameras eingesetzt, die entlang der Strecke in dichtem Abstand installiert werden. Die Freigabe und Sperrung des Seitenstreifens durch Zeichen 223.1-3 StVO (2009) erfolgt mit Hilfe seitlich aufgestellter Wechselverkehrszeichen in Prismenwender-Technik. Bewährt hat sich die Integration der Anlagen für die temporäre Seitenstreifenfreigabe in Streckenbeeinflussungsanlagen, da durch fahrstreifenbezogene Wechselverkehrszeichen der Streckenbeeinflussungsanlage in Verbindung mit den seitlich aufgestellten Prismenwendern eine sehr gute Nachvollziehbarkeit und Akzeptanz der Seitenstreifenfreigabe erreicht wird und Gefahrenstellen effektiv abgesichert werden können (GEISTEFELDT, GLATZ, 2010).

Mit der temporären Seitenstreifenfreigabe kann die Kapazität einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn um etwa 20 bis 25 % erhöht werden. Obwohl der Kapazitätszuwachs geringer ist als bei einer baulichen Erweiterung des Querschnitts, konnten z.B. auf den Autobahnen A 3 und A 5 in

Hessen die Überlastungen durch die Einrichtung der temporären Seitenstreifenfreigabe um bis zu 90 % reduziert werden (GEISTEFELDT, GLATZ, 2010).

Untersuchungen des Unfallgeschehens auf Autobahnen mit Seitenstreifenumnutzung (u.a. LEMKE, 2007) haben gezeigt, dass sich die temporäre Seitenstreifenfreigabe in der Regel nicht negativ auf die Unfallhäufigkeit auswirkt. In Einzelfällen treten geringfügige Zunahmen der Unfallraten auf den Abschnitten mit temporärer Seitenstreifenfreigabe auf, die jedoch durch den Rückgang der Unfallzahlen auf der Zulaufstrecke aufgrund des geringeren Risikos von staubedingten Auffahrunfällen kompensiert oder teilweise sogar überkompensiert werden.

3.2.5 Zuflussregelung

An vielen Anschlussstellen in Ballungsräumen fahren in den Spitzentunden sehr viele Fahrzeuge auf die bereits stark ausgelastete Autobahn. Diese einfahrenden Fahrzeuge können aufgrund von vorgelagerten Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen pulsartig auf die Hauptfahrbahn gelangen. In diesem Fall ist die Gefahr von Geschwindigkeitseinbrüchen und Störungen im Verkehrsablauf, die wiederum die Unfallgefahr im Anschlussstellenbereich erhöhen, sehr groß. Eine Zuflussregelungsanlage stoppt die Fahrzeugpulks mit Hilfe einer Lichtsignalanlage und lässt die Fahrzeuge in Abhängigkeit vom Verkehrsablauf auf der Hauptfahrbahn einzeln auf die Autobahn einfahren. Durch das Auflösen der einfahrenden Fahrzeugpulks wird der Verkehr auf der Hauptfahrbahn stabilisiert. Negative Auswirkungen auf das nachgeordnete Netz aufgrund von Rückstaus können mit Hilfe eines Rückstau-Detektors vermieden werden.

In Nordrhein-Westfalen werden Zuflussregelungsanlagen seit 1998 mit großem Erfolg eingesetzt. Derzeit wird an 95 Anschlussstellen der Zufluss gesteuert (STRASSEN.NRW, 2011).



Bild 3-6: Zuflussregelung

STÖCKER und TRUPAT (2001) untersuchten die 1998 als Pilotversuch installierten Zuflussregelungsanlagen auf der Autobahn A 40. In der als Vorher-Nachher-Vergleich durchgeföhrten Untersuchung wurde der positive Einfluss einer Zuflussregelung auf den Verkehrsfluss auf der Autobahn den möglichen Auswirkungen auf das nachgeordnete Netz gegenübergestellt. Dabei wurde eine deutliche Reduzierung der störenden Einflüsse auf den Verkehrsablauf der Hauptfahrbahn ermittelt, wohingegen ein negativer Einfluss auf das nachgeordnete Netz nicht festgestellt werden konnte. Auch in weiteren Untersuchungen bestätigten sich die sehr positiven Effekte von Zuflussregelungsanlagen auf die Stabilität des Verkehrsablaufs auf den Hauptfahrbahnen.

3.2.6 Variable Fahrstreifenzuteilung

Im Bereich von Knotenpunkten können Knotenbeeinflussungsanlagen eingesetzt werden, die je nach Verkehrsaufkommen einzelne Fahrstreifen unterschiedlichen Strömen zuweisen können. Ein häufiger Fall ist die Sperrung des rechten Fahrstreifens stromaufwärts von Einfahrbereichen. Dadurch können die einfahrenden Fahrzeuge ohne Verflechtungsvorgang zügig und sicher auf die Autobahn auffahren. Dies erhöht die Kapazität der Einfahrt und wirkt sich positiv auf die Verkehrssicherheit in der Einfahrt aus. Die variable Fahrstreifenzuteilung kann auch im Zuge der Netzbeeinflussung (substitutive Wechselwegweisung, vgl. Abschnitt 3.2.2) realisiert werden. Voraussetzung für den Einsatz einer variablen Fahrstreifenzuteilung ist, dass sich das Verhältnis der Verkehrsstrombelastungen auf der Hauptfahrbahn und in der Einfahrt im Tagesverlauf ändert. Bei einer gleichzeitig hohen Auslastung der zusammenführenden Fahrbahnen bietet die variable Fahrstreifenzuteilung keine Vorteile.

3.2.7 Datenerfassung

Für die zielgerichtete Verkehrssteuerung ist die Kenntnis der aktuellen Verkehrslage im Straßennetz von entscheidender Bedeutung. Der Verkehrsablauf im nordrhein-westfälischen Autobahnnetz wird an derzeit rund 2.500 Querschnitten durch ortsfeste Detektoren erfasst. Eine weitere Verdichtung und Ergänzung der Verkehrserfassung auf Autobahnen ist vorgesehen. Zusätzlich soll die Verkehrserfassung auch im nachgeordneten Netz ausgebaut werden, um u.a. die Verfügbarkeit von Umleitungsstrecken prüfen zu können.

Zur Fußballweltmeisterschaft 2006 wurden im Zuge des PPP-Projektes RUHRPILOT rund 500 zusätzliche Detektoren zur Fahrzeugdetektion installiert (RUHRPILOT, 2006). Diese mit Solarstrom betriebenen Detektoren wurden zum Teil auch auf Bundes- und Landesstraßen installiert. Anhand der Informationen der Detektoren werden über das Internetportal RUHRPILOT auf den aktuellen Verkehrsdaten basierende Routenempfehlungen angezeigt. Zusätzlich zu den Verkehrsinformationen zeigt das Portal auch mögliche ÖPNV-Verbindungen und Parkplätze an.

Durch neue Technologien und die zunehmende Verbreitung von mobilen Endgeräten in den Fahrzeugen ergeben sich in Zukunft neue Wege der Verkehrserfassung. Anstelle lokal erfasster Verkehrsdaten werden dabei fahrzeugseitig erfasste Daten verwendet, um ein möglichst detailliertes Bild der Verkehrslage zu erhalten. Beispiele für diese neuen Technologien sind:

- Floating Phone Data (FPD) / Floating Traveler Data (FTD): Die Berechnung der Position eines Fahrzeugs erfolgt anhand der Ab- und Anmeldungen von Mobiltelefonen an den Mobilfunkzellen. Für die Positionsbestimmung sind keine weiteren Endgeräte im Fahrzeug notwendig. Aufgrund der recht einfachen und ungenauen Positionsbestimmung eignet sich diese Art der Verkehrserfassung vorrangig für die Erfassung von Reisezeiten auf Autobahnen (KRAMPE, 2007; SCHLAICH, 2009).
- Floating Car Data (FCD): Im Gegensatz zu den FPD-Daten wird bei den FCD-Daten zusätzlich die über ein GPS-Modul bestimmte Position des Fahrzeugs übertragen. Die Positionsbestimmung ist sehr genau, jedoch ist der technische Aufwand aufgrund der benötigten fahrzeugseitigen Ausstattung (GPS-Modul, Telefon, Endgerät) sehr hoch.
- Extended Floating Car Data (XFCD): Aufbauend auf den GPS-gestützten FCD-Daten werden weitere Information des Fahrzeugs (ABS, ASR, ESP, Regensensor, Temperatur) übermittelt. Die Technik ermöglicht Aussagen über Wettereinflüsse (z.B. Glatteis) sowie exakte Verkehrswarnungen (BREITENBERGER e.a., 2004).

3.2.8 Verkehrszentrale

In der Verkehrszentrale werden die Verkehrsinformationen aus dem Straßennetz erfasst, analysiert und in Steuerungsentscheidungen und Verkehrsmanagementstrategien umgesetzt. Bei Bedarf kann die Verkehrszentrale geeignete Maßnahmen im Fall von Störungen einleiten und die Verkehrsteilnehmer sowie andere betroffene Akteure informieren.

Die Verkehrsrechnerzentrale hat nach MARZ (1999) folgende Aufgaben:

- Datenhaltung, u.a. zur Systemoptimierung,
- Steuerung von Netzbbeeinflussungsanlagen,
- Betriebsüberwachung des Gesamtsystems,
- Manuelle Eingriffsmöglichkeiten in Beeinflussungsanlagen,
- Koordinierung der Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen (Gesamtübersicht),
- Bereitstellung und Vermittlung von Informationen an andere Systemteilnehmer (andere VRZ, UZ, Bedienstationen) und Überwachung der Kommunikation zu diesen,
- Verbindung zu Dritten (z. B. Landesmeldestelle),
- Grundversorgung aller angeschlossenen Verkehrsbeeinflussungsanlagen,
- Parametrierung aller angeschlossenen Verkehrsbeeinflussungsanlagen,
- Auswertung für verschiedene Zwecke (z.B. verkehrstechnische Optimierungen).

In Nordrhein-Westfalen werden die Aufgaben der Verkehrszentrale für das Fernstraßennetz derzeit durch zwei Verkehrsrechnerzentralen (Recklinghausen und Leverkusen) sowie zwei Verkehrsleitzentralen (Arnsberg und Köln) wahrgenommen. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie (KREUZBERG, KIRSCHFINK, 2009) wurde empfohlen, eine integrierte Verkehrszentrale einzurichten, um die Effizienz und Qualität des Verkehrsmanagements durch eine organisatorische und räumliche Bündelung der Aufgabenwahrnehmung zu erhöhen. Gemäß Beschluss der Landesregierung vom 20.04.2010 soll die Errichtung einer integrierten Verkehrszentrale für ganz Nordrhein-Westfalen im Landesbetrieb Straßenbau NRW unter Einbeziehung der bislang von allen Bezirksregierungen wahrgenommenen straßenverkehrsbehördlichen Zuständigkeiten für Bundesautobahnen umgesetzt werden. Vergleichbare integrierte Verkehrszentralen für Autobahnen sind bereits im Land Hessen sowie in den Regionen Nord- und Südbayern in Betrieb.

3.3 Straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen

3.3.1 Geschwindigkeitsbeschränkungen

Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit können nach § 45 StVO angeordnet werden, wenn auf Grund der besonderen örtlichen Verhältnisse eine besondere Gefahrenlage besteht. Bei hohen Verkehrsstärken kann eine Geschwindigkeitsbeschränkung zur Harmonisierung des Verkehrsablaufs beitragen und dadurch die Kapazität beeinflussen. Analog zur Wirkung von Streckenbeeinflussungsanlagen (vgl. Abschnitt 3.2.3) betrifft der Effekt der Harmonisierung des Verkehrsablaufs dabei in erster Linie die Verringerung der Varianz der Kapazität, die diesbezügliche Wirkung stationärer Geschwindigkeitsbeschränkungen (Blechbeschilderung) ist jedoch geringer ausgeprägt als bei verkehrsabhängig gesteuerten Streckenbeeinflussungsanlagen (vgl. GEISTEFELDT, 2009). Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Harmonisierungswirkung in starkem Maße von der Akzeptanz der Geschwindigkeitsbeschränkung unter den Verkehrsteilnehmern abhängt. Eine „erzwungene“ Erhöhung der Akzeptanz durch eine lokale Geschwindigkeitsüberwachung ist dabei eher kontraproduktiv, da durch die Reaktion der

Verkehrsteilnehmer (abruptes Abbremsen) lokale Störungen im Verkehrsfluss induziert werden können. Hoch belastete Autobahnabschnitte in Ballungsräumen weisen häufig auch ohne Anordnung einer Geschwindigkeitsbeschränkung bereits ein reduziertes Geschwindigkeitsniveau auf, so dass durch eine Geschwindigkeitsbeschränkung kein zusätzlicher Effekt erzielt werden kann. Geschwindigkeitsbeschränkungen eignen sich daher – unabhängig von den straßenverkehrsrechtlichen Anforderungen an ihre Anordnung – nicht als Maßnahme zur Vermeidung von Staus. Von Bedeutung ist allenfalls die mittelbare Wirkung von stationären Geschwindigkeitsbeschränkungen auf das Staugeschehen durch die Vermeidung von Unfällen auf kritischen Streckenabschnitten.

3.3.2 Lkw-Überholverbote

Lkw-Überholverbote sollten nach VwV-StVO „nur auf Straßen mit erheblichem und schnellem Fahrverkehr dort aufgestellt werden, wo der reibungslose Verkehrsablauf das erfordert.“ Lkw-Überholverbote werden regelmäßig im Bereich von Steigungs- und Gefällstrecken sowie in Tunnelstrecken angeordnet, auf denen Lastkraftwagen nicht zügig überholt können oder wo durch Überholungen von Lkw besondere Gefahren für den fließenden Verkehr entstehen können.

Die Auswirkungen von Lkw-Überholverboten auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit auf Autobahnen wurden von BRILON, DREWS (1996) empirisch analysiert. Sie ermittelten unter Berücksichtigung der Zeit- und Betriebskosten einen gesamtwirtschaftlichen Nutzen von Lkw-Überholverbeten ab einer Gesamtverkehrsstärke von 2.000 Kfz/h. Die Betrachtung des Unfallgeschehens ergab keine eindeutigen Veränderungen. Lediglich im Bereich von Fahrstreifenreduktionen, Autobahnkreuzen, Steigungs- und Gefällestellen oder Strecken mit überproportionaler Unfallbeteiligung von Lkw konnte ein Sicherheitsgewinn durch Lkw-Überholverbote ermittelt werden.

KELLERMANN (2002) bestätigte die Verkehrsstärke von 2.000 Kfz/h, ab der ein Lkw-Überholverbot sinnvoll ist, und empfahl eine Anordnung in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad (Wechselverkehrszeichen oder Beschilderung mit Einschränkung des Zeitbereichs). Während aus einem Lkw-Überholverbot für den Schwerverkehr nur ein geringfügiger Rückgang der mittleren Fahrzeiten resultiert, kann der Pkw-Verkehr eine deutliche Verbesserung der Fahrtzeiten erreichen. Ähnliche Ergebnisse wurden in einer umfangreichen Simulationsstudie von BRILON, HARDING (2007) ermittelt.

Auswirkungen von Lkw-Überholverbeten auf die Stauentstehung auf Autobahnen wurden in den vorgenannten Studien nicht explizit untersucht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass durch ein Verbot von Lkw-Überholungen Störungen des Verkehrsablaufs bei hohen Verkehrsstärken vermieden werden. In Nordrhein-Westfalen werden Lkw-Überholverbote auf Autobahnen konsequent entsprechend den o.g. Einsatzempfehlungen angeordnet, um den Verkehrsablauf zu verbessern und die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

3.3.3 Markierung und Wegweisung

Insbesondere im Bereich komplexer Autobahnknotenpunkte kann durch eine Anpassung der Fahrstreifenmarkierung und der wegweisenden Beschilderung, ggf. in Verbindung mit einer Umsortierung des Verkehrsraums, unter Umständen eine Verbesserung des Verkehrsablaufs erreicht werden. Der finanzielle und zeitliche Aufwand für solche Maßnahmen ist meist sehr gering, da in der Regel keine baulichen Veränderungen erforderlich sind.

Beispiele für Anpassungen der Fahrstreifenmarkierung und der Wegweisung sind:

- Verlängerung von Ein- oder Ausfädellungsstreifen,
- Änderung des Ein- oder Ausfahrttyps,
- Umnutzung des Seitenstreifens in einem Verflechtungsbereich (vgl. Abschnitt 3.1.2),
- Umbau einer Verteilerfahrbahn zu einer Doppel einfahrt,
- Einrichtung einer zweiten Ausfahrt („Insider“-Ausfahrt),
- Anpassung der (fahrstreifenbezogenen) Wegweisung in Sortierräumen.

3.4 Baustellenmanagement

Sanierungs- und Ausbaumaßnahmen an Straßen erfordern in der Regel erhebliche Eingriffe in den Verkehrsablauf. Durch die Verengung oder den Einzug von Fahrstreifen und die fahrdynamisch ungünstigere Verkehrsführung wird die Kapazität im Bereich von Baustellen reduziert und die Stauwahrscheinlichkeit erhöht. Ziel des Baustellenmanagements ist es daher, die Auswirkungen von Baustellen auf den Verkehrsablauf so weit wie möglich zu minimieren, indem bereits im Vorfeld einer Baumaßnahme deren verkehrliche Konsequenzen eingeschätzt und bei der Planung berücksichtigt werden. Im Rahmen des Baustellenmanagements kann durch eine Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden, dass die verkehrlichen Konsequenzen der Baustelle möglichst gering gehalten werden. Dazu zählen:

- Verlagerung der Bautätigkeit in Schwachlastzeiten,
- Verkürzung der Bauzeit durch Nacharbeit und Arbeit am Wochenende,
- Wahl einer Verkehrsführung mit möglichst breiten Fahrstreifen im Bereich der Baustelle (z.B. Verkehrsführung 3+1 statt 4+0, provisorische Verbreiterung des Querschnitts),
- verkehrstechnische Detaillösungen (z.B. durch geeignete Markierung) zur Verbesserung des Verkehrsablaufs.

Dabei sind die volkswirtschaftlichen Verluste infolge der durch die Baustelle verursachten Staus gegen die zusätzlichen Kosten, die z.B. durch die Wahl einer günstigeren Verkehrsführung entstehen, abzuwagen.

Die Verlagerung von Baustellen in Schwachlastzeiten ist insbesondere für die Planung von Tagesbaustellen von herausragender Bedeutung. Da Tagesbaustellen in der Regel sehr flexibel planbar sind und nur kurze Zeiträume umfassen, ergeben sich besonders große Optimierungspotenziale für das Baustellenmanagement. Im Land Hessen konnten beispielsweise durch sehr strikte Vorgaben hinsichtlich der zulässigen Auswirkungen von Tagesbaustellen auf den Verkehrsablauf (vgl. HLSV, 2010b) die durch Baustellen verursachten Staus auf Autobahnen erheblich reduziert werden. In Nordrhein-Westfalen wurden erhebliche Anstrengungen zur Verlagerung von Tagesbaustellen in die Nachtstunden unternommen. So wurden im Jahr 2010 bei 32,5 % der insgesamt 13.500 Tagesbaustellen die Arbeiten im Zeitraum zwischen 20 und 5 Uhr durchgeführt (STRASSEN.NRW, 2011b).

Durch verkehrstechnische Maßnahmen der Beschilderung und Markierung kann der Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen verbessert werden. In den vergangenen Jahren sind in Nordrhein-Westfalen verschiedene innovative Lösungen wie z.B. Rüttelbalken oder durchgezogene Markierungen zur Unterstützung des Reißverschlussverfahrens an Fahrstreifenreduktionen (VOLKENHOFF e.a., 2010) getestet und eingesetzt worden. Die positiven Wirkungen dieser Maßnahmen wurden in verschiedenen Untersuchungen (z.B. STEINAUER e.a., 2010) nachgewiesen.

3.5 Störungsmanagement

Störungen des Verkehrsablaufs durch unvorhersehbare Ereignisse wie z.B. Unfälle oder liegen gebliebene Fahrzeuge können gravierende Überlastungen zur Folge haben. Besonders kritisch sind Störfälle, die zu einer Querschnittseinschränkung bis hin zur Vollsperrung der Fahrbahn führen. Die aus Fahrstreifensperrungen resultierenden Zeitverluste für die Verkehrsteilnehmer überschreiten die Verzögerungen bei rein nachfragebedingten Staus häufig um ein Vielfaches. Insbesondere bei verengten Verkehrsführungen im Bereich von Baustellen können auch bereits kleinere Störungen, z.B. durch liegen gebliebene Fahrzeuge, gravierende Auswirkungen haben. Daher ist die zügige Beseitigung von Störungen von großer Bedeutung. Bei absehbaren Störungen des Verkehrsablaufs, z.B. durch Großveranstaltungen, ist eine rechtzeitige Information der betroffenen Aufgabenträger und der Verkehrsteilnehmer sicherzustellen, um die Auswirkungen der Störung zu minimieren.

Die Beseitigung von Störungen durch Verkehrsunfälle erfordert in der Regel eine intensive Abstimmung zwischen unterschiedlichen Aufgabenträgern (z.B. Polizei, Rettungsdienste, Verkehrsleitzentrale, Abschleppdienste, Versicherungen, ggf. Staatsanwaltschaft). Hinsichtlich der Organisationsstrukturen für die Koordinierung der unterschiedlichen Aufgabenträger sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen, z.B. bzgl. versicherungsrechtlicher Fragen im Zusammenhang mit der Bergung von Ladegut bei Lkw-Unfällen, bestehen in Deutschland allerdings noch Defizite, die dem Ziel einer schnellstmöglichen Räumung der Unfallstelle entgegen stehen.

3.6 Mobilitätsmanagement

3.6.1 Übersicht

Unter dem Begriff „Mobilitätsmanagement“ werden im Allgemeinen Konzepte und Maßnahmen verstanden, mit denen das Mobilitätsverhalten der Bürger und damit die Verkehrsnachfrage und die Verkehrsmittelwahl im Personenverkehr direkt oder indirekt beeinflusst werden. Dazu zählen insbesondere die Bereitstellung von Angeboten und Informationen über alternative Beförderungsgelegenheiten sowie die Steigerung der Attraktivität alternativer Verkehrsmittel, z.B. über die Preisgestaltung.

3.6.2 Betriebliches Mobilitätsmanagement

Das betriebliche Mobilitätsmanagement bietet Arbeitgebern die Möglichkeit, die erforderliche Mobilität der Mitarbeiter auf dem Weg zur Arbeit sowie für dienstliche und geschäftliche Wege sicherzustellen, zu verbessern sowie effizient und nachhaltig zu organisieren. Bei Betrieben mit einer großen Belegschaft bietet es sich an, die Anzahl der alleine mit dem Pkw anreisenden Mitarbeiter zu reduzieren. Ideal für ein betriebliches Mobilitätsmanagement sind Betriebe mit deutlich abgegrenzten Arbeitszeiten, wie sie beispielsweise bei Schichtdienst (z.B. Krankenhäuser, Autoindustrie), einer relativ festen Kernarbeitszeit (z.B. Verwaltung) oder festen Öffnungszeiten (z.B. Einzelhandel) gegeben sind.

In einer Vielzahl von Untersuchungen wurden die Möglichkeiten des betrieblichen Mobilitätsmanagements aufgezeigt (MÜLLER, 2001; KEMMING, 2007). So stellten MÜLLER, STIEWE (2005) im Auftrag des ILS NRW auf der Grundlage von Umfragen einen Katalog mit Maßnahmen zur Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements auf. Eine Zusammenfassung der allgemeinen Forschung zum Bereich des Mobilitätsmanagements ist auf der Website www.mobilitaetsmanagement.nrw.de dargestellt.

Konkrete Maßnahmen im betrieblichen Mobilitätsmanagement sind:

- Angebote für vergünstigte Jobtickets für den Öffentlichen Personennahverkehr,
- Unterstützung der Bildung von Fahrgemeinschaften, z.B. durch Internet-Portale,
- Bildung von Fahrgemeinschaften bei Dienstreisen durch die Dienstreisestelle.

3.6.3 Intermodale Angebote

Unter „Intermodalität“ wird die Kombination von verschiedenen Verkehrsmitteln im Laufe einer Fahrt verstanden. Durch intermodale Angebote können insbesondere Anreize für Reisende im motorisierten Individualverkehr geschaffen werden, auf Teilstrecken öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen und somit das Straßennetz zu entlasten.

Nach ZUMKELLER (2005) ist gegenwärtig nur ein kleiner Teil der Wege im Fernverkehr (über 100 km einfache Wegstrecke) als intermodal anzusehen. Er nimmt jedoch an, dass deutlich größere Nachfragepotenziale für intermodale Angebotskonzepte bestehen.

Die Deutsche Bahn stellt an vielen großen Bahnhöfen intermodale Angebote für die Weiterfahrt bereit. So stehen an großen Bahnhöfen Carsharing-Fahrzeuge bereit, die mit einer Bahncard oder einem Bahnticket vergünstig gemietet werden können. Des Weiteren werden in vielen großen Bahnhöfen Fahrräder (z.B. Call a Bike) angeboten. Auch von lokalen Anbietern werden in verschiedenen deutschen Großstädten Mietfahrräder angeboten (z.B. metropolradruhr).

Der Umstieg auf die Bahn und somit die Förderung von intermodalen Angeboten kann z.B. durch vergünstigte Fahr-/ Monatskarten oder die Bereitstellung von Park&Ride-Parkplätzen erfolgen. MAERTINS (2006) sieht in der sich immer weiter verbreitenden Nutzung von mobilen Endgeräten und dem Internet ein großes Potential für die weitere Verbreitung von intermodalen Angeboten. So kann der potentielle Nutzer sich schon vor der Abfahrt oder in der Bahn über das mobile Internet erkundigen, ob geeignete Verkehrsmittel an seinem Zielbahnhof verfügbar sind.

3.6.4 Differenzierte Mautbepreisung

Für die Erhebung von Straßennutzungsgebühren wird zwischen zwei verschiedenen Varianten unterschieden:

- Bei einer zugangsbezogenen Maut wird die Nutzung einer Straße bzw. eines Straßennetzes für einen zuvor bestimmten Zeitraum ermöglicht.
- Bei einer nutzungsabhängigen Maut wird die Gebühr in Abhängigkeit von der tatsächlich erfolgten Nutzung erhoben.

Während die zugangsbezogene Maut relativ unkompliziert mit Hilfe von Vignetten erhoben werden kann, muss die nutzungsabhängige Gebühr aufwändiger erfasst werden.

Während im Ausland Straßennutzungsgebühren schon seit vielen Jahren üblich sind, ist die Mauterhebung im Pkw-Verkehr in Deutschland bislang auf wenige, zusätzlich zum bestehenden Infrastrukturgebot errichtete Kunstbauwerke (insbesondere Tunnels) beschränkt. Für Lkw über 12 t Gesamtgewicht wird seit Januar 2005 eine entfernungsabhängige Maut auf Bundesautobahnen erhoben. Um insbesondere den Mautausweichverkehr zu verringern, sollen Mautgebühren für Lkw zukünftig auch auf vielen vierstreifigen Bundesstraßen erhoben werden (BMVBS, 2011b). Die Erhebung der Lkw-Maut auf Autobahnen liegt in der Zuständigkeit des Bundes.

Neben ihrer Bedeutung für die privatwirtschaftliche Finanzierung des Baus und Betriebs von Straßen werden Mautgebühren im Ausland teilweise auch gezielt zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage eingesetzt. Ein Beispiel dafür ist die City-Maut, die weltweit in zahlreichen Metropolen (u.a. Singapur, London) erhoben wird und dort zu einer erheblichen Reduzierung des Verkehrsaufkommens in den Kernstadtbereichen geführt hat.

Über die herkömmliche Mautbepreisung hinaus wurde in verschiedenen Regionen weltweit eine tageszeitabhängige Maut umgesetzt. In diesen Fällen ist in den Spitzentunden eine höhere Maut zu entrichten als in den Tageszeiten mit geringerer Verkehrsnachfrage. Des Weiteren ist die Maut teilweise auch von der Anzahl der Fahrzeuginsassen abhängig. Aufgrund der geringeren Mautgebühr bei mehreren Fahrzeuginsassen wird die Bildung von Fahrgemeinschaften unterstützt. Beispiele für die Erhebung einer tageszeitabhängigen und / oder vom Besetzungsgrad abhängigen Mautbepreisung sind:

- Stockholm (Schweden): In der Innenstadt wurde 2005 eine tageszeitabhängige Mautbepreisung eingeführt. Die Fahrzeugerfassung erfolgt über Mikrowellenkommunikation und automatische Abbuchung vom Konto des Nutzers. Um eine flächendeckende Ausstattung mit Transpondern zu erreichen, wurden die Geräte kostenlos ausgegeben. In der gebührenpflichtigen Zeit ging der Autoverkehr um 20 bis 25 % zurück (KLOAS, V2007).
- Trondheim (Norwegen): Die mittlerweile aufgrund von fehlender Akzeptanz wieder abgeschaffte tageszeitabhängige Mautbepreisung in Trondheim bremste das jährliche Verkehrswachstum von 2,8 % (im Umland) auf 1,8 %. Während der nach Tageszeiten differenzierte Tarif die Spitzenbelastungen senkte und in die preiswerteren Zeiten verschob, sind die Auswirkungen auf das gesamte Verkehrsgeschehen jedoch gering (KLOAS, VOIGT, 2007).
- San Diego (USA): Auf der Stadtautobahn von San Diego ist ein zusätzlicher Fahrstreifen für Fahrzeuge mit mindestens zwei Insassen eingerichtet. Pkws mit nur einer Person müssen je nach Verkehrsdichte und Uhrzeit eine Maut entrichten.
- Seoul (Südkorea): In der Morgenspitze (7-9 Uhr) muss für einen Verbindungstunnel eine Mautgebühr bezahlt werden, wenn nicht mindestens zwei Personen in dem Fahrzeug sitzen. Als Folge der Maut stieg der Besetzungsgrad der Fahrzeuge deutlich.



Bild 3-7: Mautpflichtige Express-Fahrbahn in Miami, USA

Eine tageszeitlich oder räumlich differenzierte Mautbepreisung für Lkw ist in Deutschland bislang nicht vorgesehen. Ungeachtet der fehlenden rechtlichen Voraussetzungen könnte von einer solchen Maßnahme nur dann eine Lenkungswirkung ausgehen, wenn ein nennenswertes Verlagerungspotenzial auf andere Zeiten bzw. Routen besteht. Auf Autobahnen in Ballungs-

räumen entfällt ein erheblicher Anteil des Verkehrsaufkommens auf den Quell- und Zielverkehr. Der Anteil des räumlich flexibleren Transitverkehrs beträgt in Deutschland nur rund 8 % des Schwerverkehrs (KBA, 2011). Bei regelmäßig überlasteten Streckenabschnitten im Autobahnnetz ist zudem davon auszugehen, dass diese Abschnitte aufgrund der in der Regel sehr guten Ortskenntnis der Lkw-Fahrer ohnehin eher gemieden werden, sofern gleichwertige Alternativrouten zur Verfügung stehen. Darüber hinaus führen Restriktionen des Schwerverkehrs zu einer unerwünschten Verlagerung von Schwerverkehrsströmen in das nachgeordnete Netz und in der Konsequenz zu erhöhten Umweltbelastungen für die Anwohner und möglicherweise zu einer Zunahme von Unfällen im nachgeordneten Netz.

3.6.5 HOV-Lanes

Insbesondere in den USA sind auf Autobahnen in Ballungsräumen häufig Fahrstreifen als „High-Occupancy Vehicle Lane“ (HOV-Lane) ausgewiesen, die nur von Fahrzeugen mit mehreren – in der Regel mindestens zwei – Personen genutzt werden dürfen. Die HOV-Lanes sollen die Bildung von Fahrgemeinschaften fördern. Diese Fahrstreifen sind meist geringer stark belastet und erlauben daher geringere Reisezeiten.

Der Einsatz von HOV-Lanes bietet sich nur an mindestens dreistreifigen Richtungsfahrbahnen mit sehr hohen Verkehrsbelastungen an. Bei einer zu geringen Nutzung der HOV-Lanes werden die Staus eher verstärkt. Erst wenn sich aufgrund der zusätzlichen Fahrgemeinschaften das Gesamtverkehrsaufkommen spürbar reduziert, kann eine HOV-Lane Vorteile erzielen.

3.7 Verkehrsinformation und Navigation

3.7.1 Erweiterung der Datengrundlage

Durch die zunehmende Verbreitung von Navigationsgeräten gewinnen aktuelle und präzise Verkehrsinformationen für die Verkehrsteilnehmer erheblich an Bedeutung. Potenziale für die Verbesserung der Qualität von Verkehrsinformationen ergeben sich insbesondere durch die automatische Staudetektion. Bereits heute werden rund 85 % aller Verkehrsmeldungen in Nordrhein-Westfalen automatisch auf der Grundlage der Daten von Dauerzählstellen generiert. Durch eine weitere Verdichtung der Verkehrserfassung im Autobahnnetz und die Einbeziehung zusätzlicher Datenquellen (vgl. Abschnitt 3.2.7) ergeben sich Potenziale für eine weitere Verbesserung der Qualität der Verkehrsinformationen. Auf der Grundlage fahrzeugseitig erfasster Daten (z.B. FCD) ist es möglich, ein kontinuierliches Abbild der Verkehrslage zu erstellen und die Detektion von Staus, die zwischen lokalen Messstellen entstehen, zu beschleunigen.

3.7.2 Optimierung der Meldekette

In verschiedenen Untersuchungen (z.B. BOGENBERGER, 2003; HOBST, 2000) wurde die Qualität von Verkehrsinformationen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass in vielen Fällen der Ort der Verkehrsbeeinträchtigungen richtig gemeldet wird, diese Meldung jedoch mit einer zu großen zeitlichen Verzögerung erfolgt (vgl. Bild 3-8). Während die Verkehrsmeldungen vor dem flächendeckenden Einsatz von TMC und Navigationssystemen nur jede halbe Stunde durch den Rundfunk an den Verkehrsteilnehmer weitergegeben wurden, werden die Informationen heutzutage direkt vom Navigationssystem empfangen und in der Routenwahl berücksichtigt.

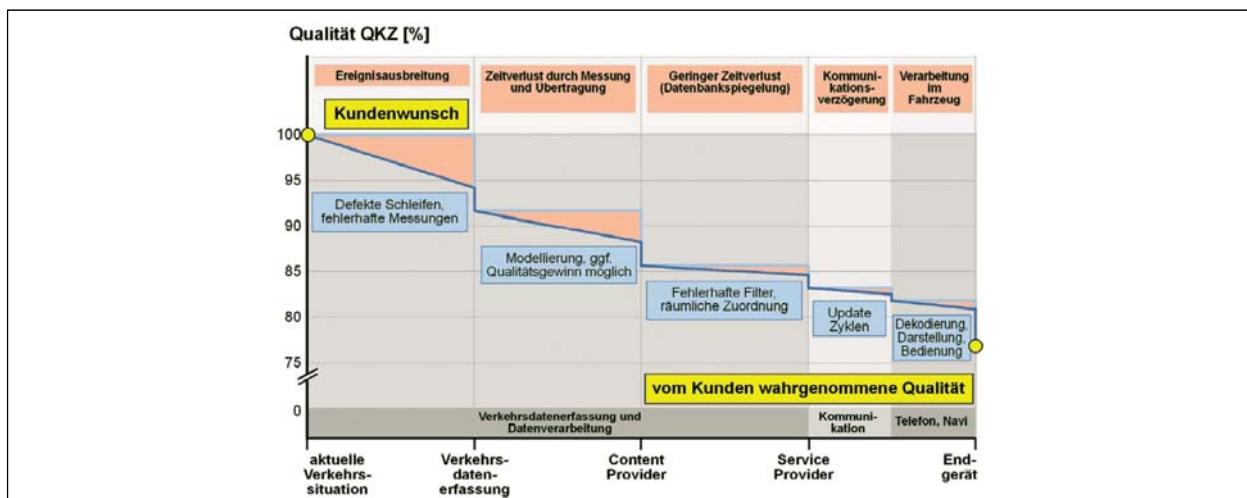


Bild 3-8: Verlauf der Qualität innerhalb der Meldekette (BOGENBERGER, 2003)

Die Gründe für Zeitverzögerungen liegen unter anderem in der langen Meldekette von der Detektion des Staus bis zur Mitteilung an den Verkehrsteilnehmer. In Nordrhein-Westfalen durchlaufen beispielsweise die Verkehrsmeldungen von ihrer Detektion am Messquerschnitt bis zur Bereitstellung für den Rundfunk und private Service-Provider in der Regel die in Bild 3-9 dargestellten Stationen. Zusätzlich gibt es Schnittstellen für Verkehrsinformationen von den Polizeibehörden, die ihre Meldungen über die Leitstellen der jeweiligen Polizeipräsidien an die Landesmeldestelle übermitteln. Die einzelnen Stationen der Meldekette sind dabei sowohl räumlich als auch organisatorisch stark voneinander getrennt. Eine Bündelung der Meldungsverarbeitung würde die Meldekette vereinfachen, die Verarbeitungszeit verkürzen und in der Konsequenz die Qualität der Verkehrsmeldungen steigern.

Neben der Erfassung und Weiterverarbeitung durch öffentliche Institutionen werden Verkehrsmeldungen auch durch private Anbieter erhoben und bereitgestellt. Dazu zählen insbesondere der ADAC, die DDG sowie Anbieter von Navigationssystemen. Die privaten Anbieter verwenden dabei in der Regel Informationen aus eigenen Quellen und fusionieren diese Daten mit den Verkehrsmeldungen der Landesmeldestellen.

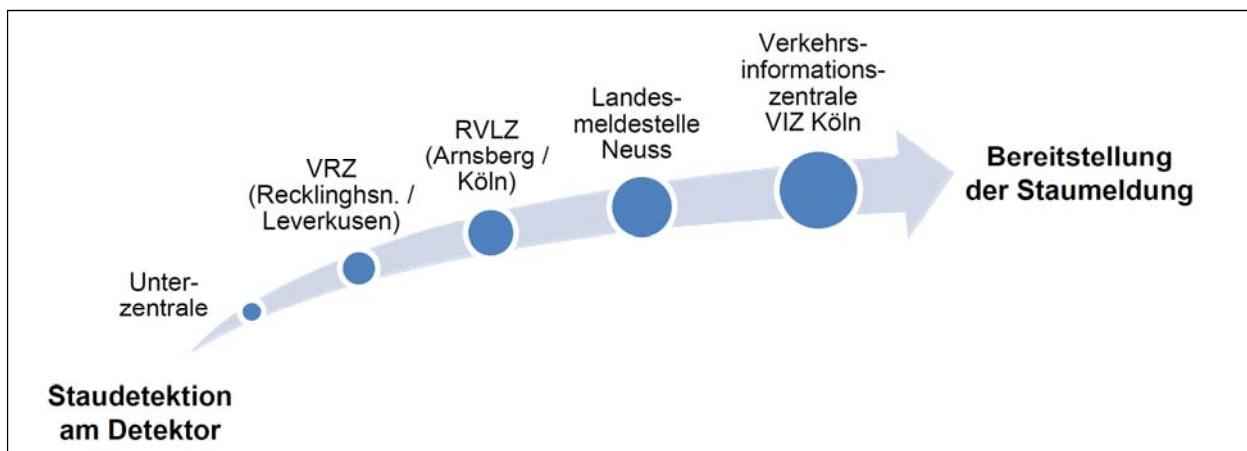


Bild 3-9: Meldekette für automatisch detektierte Verkehrsmeldungen in Nordrhein-Westfalen

3.8 Neue Technologien

3.8.1 Fahrerassistenzsysteme

Fahrerassistenzsysteme sind elektronische Zusatzeinrichtungen in Kraftfahrzeugen, die durch die gezielte Unterstützung des Fahrers in bestimmten Fahrsituationen zur Erhöhung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts beitragen. Sowohl die aktive Sicherheit (Vermeidung von Unfällen) als auch die passive Sicherheit (Verringerung der Unfallschwere) von Fahrzeugen kann durch Fahrerassistenzsysteme positiv beeinflusst werden. Beispiele für sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme sind:

- Antiblockiersystem (ABS),
- Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP),
- Notbremsassistent,
- Abstandsregeltempomat, Adaptive Cruise Control (ACC),
- Spurhalteassistent/Spurassistent (Querführungsunterstützung),
- Spurwechselassistent,
- Verkehrszeichenerkennung.

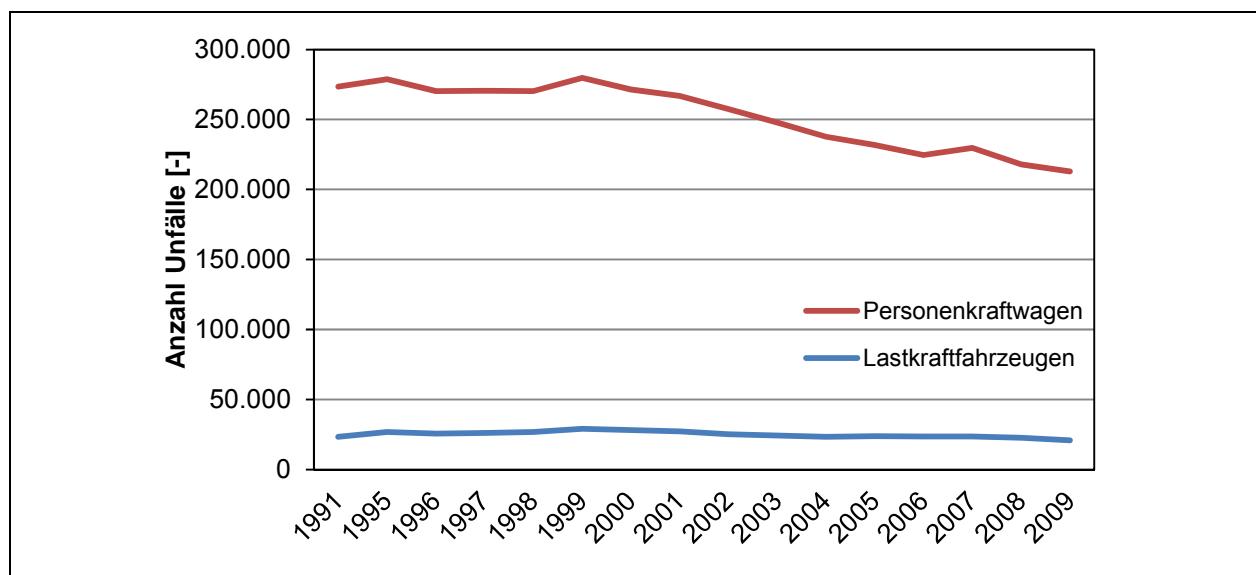


Bild 3-10: Entwicklung der Anzahl an Verkehrsunfällen differenziert nach Pkw und Lkw (Destatis, 2011)

In den letzten Jahren ist die Anzahl der Unfälle mit Pkws fortwährend gesunken (Destatis, 2011; vgl. Bild 3-10). Die zunehmende Verbreitung von aktiven Sicherheitssystemen wie ABS und ESP hat dazu einen wichtigen Beitrag geleistet. Die Anzahl der Unfälle, an denen Lkw beteiligt sind, ist dagegen nahezu konstant geblieben. Zu begründen ist die Stagnation der Lkw-Unfallzahlen dabei teilweise durch die Zunahme des Schwerverkehrs auf deutschen Straßen.

Im Hinblick auf die weitere Reduzierung unfallbedingter Staus auf Autobahnen sind vor allem Fahrerassistenzsysteme von Bedeutung, die zur Vermeidung schwerer Unfälle beitragen. Potenziale ergeben sich u.a. durch den Einsatz vorausschauender Fahrerassistenzsysteme in Pkw und insbesondere auch in Lkw. So könnten z.B. nach Untersuchungen der UDV (2011) durch eine Vollausstattung der Lkw-Flotte mit Notbremsassistenten 6 % der Lkw-Unfälle insgesamt und 27 % der Auffahrunfälle von Lkw vermieden werden. Dies betrifft vor allem die besonders folgenschweren Unfälle mit Lkw-Beteiligung am Stauende. Für neue Lkw ist der Notbremsassistent von der EU ab 2013 verbindlich vorgeschrieben.

3.8.2 Kooperative Telematiksysteme

Bei den bislang im Straßenverkehr eingesetzten Verkehrsbeeinflussungsanlagen handelt es sich in der Regel um kollektiv wirkende Systeme. Durch Innovationen in der Informations- und Kommunikationstechnologie ergeben sich darüber hinaus jedoch neue Potenziale für eine individualisierte Verkehrssteuerung mittels Fahrzeug-Fahrzeug- und Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (zusammenfassend als C2X-Kommunikation bezeichnet). Diese kooperativen Systeme ermöglichen den direkten Austausch von Informationen zwischen den Fahrzeugen untereinander sowie zwischen den Fahrzeugen und den infrastrukturseitigen Verkehrs erfassungs- und -steuerungseinrichtungen. Durch diese Verknüpfung von Fahrzeug und Infrastruktur können detaillierte Informationen über den aktuellen Verkehrs- und Straßenzustand erfasst und individuelle Gefahrenwarnungen oder Umleitungsempfehlungen gezielt an die Fahrer in dem betroffenen Streckenabschnitt übermittelt werden.

Die Individualisierung der Informationsvermittlung an den Fahrer hat das Potenzial einer nachhaltigen Steigerung der Effizienz und Sicherheit im Straßenverkehr. Durch die Vermeidung von Störungen werden Überlastungen reduziert und die Verfügbarkeit der Kapazität der Straßeninfrastruktur gesteigert. Durch C2X-Kommunikation kann der Verkehr insbesondere auch auf Streckenabschnitten, auf denen der Einsatz konventioneller Verkehrsbeeinflussungsanlagen nicht wirtschaftlich ist, effektiv gesteuert werden. In laufenden Forschungsvorhaben (z.B. sim^{TD}) werden die Wirkungspotenziale und Einsatzmöglichkeiten kooperativer Telematiksysteme derzeit umfassend getestet. Anwendungen der Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation werden bereits durch einige Automobilhersteller als Sonderausstattung angeboten, eine flächendeckende Umsetzung, insbesondere von Systemen der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation, ist jedoch noch nicht absehbar.

4. Methodik der empirischen Datenanalyse

4.1 Untersuchungsansatz

Die empirische Analyse des Staugeschehens auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen erfolgte mit dem Ziel, aussagekräftige und räumlich detaillierte Erkenntnisse zum Ausmaß und den Ursachen der Staus zu gewinnen. Als Bezugsjahr für alle Analysen diente das Jahr 2010. Grundlage der Untersuchung bildeten die Verkehrsdaten von Dauerzählstellen. Anhand der an den Dauerzählstellen aufgezeichneten Geschwindigkeiten wurde das Ausmaß der Staus für jeden Messquerschnitt ermittelt. Durch die Zuordnung jedes Querschnitts zu dem ihn umgebenden Streckenabschnitt wurden die lokal erfassten Daten auf eine streckenbezogene Betrachtung übertragen. Grenzen der Streckenabschnitte wurden entweder in der Mitte zwischen benachbarten Dauerzählstellen oder an angrenzenden Knotenpunkten festgelegt. Dabei wurde näherungsweise davon ausgegangen, dass die am Messquerschnitt gemessenen Geschwindigkeiten repräsentativ für den umgebenden Streckenabschnitt sind. Die Güte dieser Übertragung sinkt mit zunehmendem Abstand zwischen den Dauerzählstellen. Aufgrund des in der Regel besonders geringen Abstands der Zählstellen auf Streckenabschnitten mit regelmäßigen Überlastungen ist davon auszugehen, dass diese Näherung eine relativ genaue Einschätzung des Ausmaßes der Überlastungen über Weg und Zeit ermöglicht. Für eine noch detailliertere Nachbildung der räumlichen Stauausbreitung, insbesondere auch unter Berücksichtigung der Übereckbeziehungen in Autobahnknotenpunkten, wäre ein sehr aufwändiger modellbasierter Ansatz erforderlich, der im Rahmen der vorliegenden Studie nicht umgesetzt werden konnte.

Zur Ermittlung der Ursachen von Staus wurden die Verkehrsdaten mit Baustellendaten und Unfalldaten verknüpft. Dabei wurden für jeden Messquerschnitt im Einflussbereich der Baustelle bzw. der Unfallstelle Zeitbereiche ermittelt, in denen ein möglicher Einfluss einer Baustelle oder eines Unfalls vorlag. Sofern in diesen Zeitbereichen ein Stau detektiert wurde, wurde der Stau der jeweiligen Ursache zugeordnet. Die Einflussbereiche stromaufwärts der Unfallstelle bzw. des Beginns der Baustelle wurden in Abhängigkeit von der Art der Störung nach Tab. 4-1 festgelegt. Durch die Annahme unterschiedlicher Einflusslängen wurde berücksichtigt, dass die maximale Ausdehnung der durch Störungen verursachten Staus maßgeblich von der Restkapazität des Querschnitts abhängt. Die maximale Einflusslänge wurde auf 10 km festgelegt. Bei Unfällen wurde auch die Gegenrichtung einbezogen, um ggf. Störungen durch Schaulustige zu erfassen. Der zeitliche Einflussbereich von Unfällen wurde auf zwei Stunden festgelegt. Sofern in den ersten zwei Stunden nach einem Unfall ein Stau detektiert wurde, wurden auch die folgenden Stunden bis zur Auflösung des Staus der Ursache „Unfall“ zugeordnet.

Art der Störung	Einflusslänge
Unfall	10,0 km
Vollsperrung	10,0 km
Dauerbaustelle: - ohne Fahrstreifenreduktion	5,0 km
- mit Fahrstreifenreduktion	10,0 km
Tagesbaustelle: - ohne Fahrstreifensperrung	5,0 km
- Sperrung 1 von 2 Fahrstreifen	10,0 km
- Sperrung 1 von 3 Fahrstreifen	7,5 km
- Sperrung 1 von 4 Fahrstreifen	5,0 km
- Sperrung von mehr als 1 Fahrstreifen	10,0 km

Tab. 4-1: Einflusslängen stromaufwärts von Störungsstellen

4.2 Datengrundlagen

Für die empirische Analyse des Staugeschehens wurden umfangreiche Daten aus der automatischen Verkehrserfassung auf Autobahnen ausgewertet. Dazu wurden die Daten sämtlicher Dauerzählstellen des nordrhein-westfälischen Autobahnnetzes für das Jahr 2010 vom Landesbetrieb Straßen.NRW bereitgestellt. Die Datensätze umfassen fahrstreifenbezogene Verkehrsstärken und mittlere Geschwindigkeiten in 1-Minuten-Intervallen, jeweils differenziert nach Pkw und Lkw. Für die Auswertung wurden ausschließlich die Daten von Messquerschnitten an Hauptfahrbahnen aufbereitet. Von diesen rund 1.500 Querschnitten wurden nach dem Ausschluss von Datensätzen

- von Zählstellen außerhalb der betrachteten Streckenabschnitte (siehe unten),
- mit großen Lücken (Anteil fehlender 5-Minuten-Intervalle > 50 %) sowie
- mit redundantem Informationsgehalt (z.B. bei sehr dicht aufeinander folgenden Zählstellen)

insgesamt 1.044 Querschnitte in die Auswertung einbezogen. 636 dieser Querschnitte befinden sich an zweistreifigen Hauptfahrbahnen, 404 Querschnitte an dreistreifigen Hauptfahrbahnen und 4 Querschnitte an vierstreifigen Hauptfahrbahnen.

Die meisten Strecken des Autobahnnetzes des Landes Nordrhein-Westfalen verfügen über eine sehr dichte Verkehrserfassung. Größere Erfassungslücken bestehen derzeit noch auf den Autobahnen A 1 Wuppertal – Burscheid, A 4 Bergisch Gladbach – Olpe und A 46 Neuss – Heinsberg. Diese Strecken wurden daher nicht in die Analyse des Staugeschehens einbezogen. Unabhängig von der Verfügbarkeit von Zählstellendaten blieben darüber hinaus alle Autobahnen mit dreistelliger Autobahnnummer sowie einige weitere kurze Abschnitte unberücksichtigt, für die aufgrund ihrer geringen Länge und der starken Beeinflussung des Verkehrsablaufs durch den Einfluss angrenzender Knotenpunkte keine sinnvolle Zuordnung von Staus zu den Ursachen möglich war. Damit konnten Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 1.688 km in die Untersuchung einbezogen werden (vgl. Tab. 4-2). Dies entspricht rund 75 % der Gesamtlänge des Autobahnnetzes in Nordrhein-Westfalen. Da sich unter den nicht betrachteten Autobahnen sowohl ausgeprägte Engpässe (z.B. A 1 Wuppertal – Burscheid, A 555 Köln – Bonn) als auch schwach belastete Abschnitte (z.B. A 4 Gummersbach – Olpe, A 46 Mönchengladbach – Heinsberg) befinden, kann davon ausgegangen werden, dass die untersuchten Autobahnen annähernd repräsentativ für das Gesamtnetz der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen sind. Daher können die Ergebnisse bzgl. des Ausmaßes der Staus näherungsweise proportional auf das Gesamtnetz hochgerechnet werden.

Als Auswertungszeitraum für die empirischen Untersuchungen des Staugeschehens wurde das Jahr 2010 festgelegt. Eine erste Analyse der Verkehrsdaten zeigte jedoch, dass durch die lang anhaltende winterliche Witterung in den Monaten Januar, Februar und Dezember 2010 eine erhebliche Beeinflussung der an den Dauerzählstellen gemessenen Geschwindigkeitsganglinien vorlag, die zu einer deutlichen Überschätzung des tatsächlichen Staugeschehens geführt hätte. Daher wurden alle Auswertungen auf den Zeitraum vom 08.03. bis 28.11.2010 beschränkt und die Ergebnisse bezüglich der Staudauer und der Zeitverluste proportional auf das Gesamtjahr hochgerechnet.

BAB	von	km	bis	km	Länge [km]
A 1	AS Greven	258,3	AK Wuppertal-Nord	365,7	107,4
	AS Burscheid	393,1	AD Erftal	436,7	43,6
A 2	LG Niedersachsen	283,7	AK Oberhausen	473,1	189,4
A 3	BG Niederlande	0,0	LG Rheinland-Pfalz	182,6	182,6
A 4	BG Belgien	0,0	AD Köln-Heumar	81,2	81,2
	AK Köln-Ost	84,4	AS Moitzfeld	95,0	10,6
A 30	LG Niedersachsen	28,4	AK Lotte/Osnabrück	64,5	36,1
	LG Niedersachsen	103,8	AD Löhne	125,2	21,4
A 31	AK Bottrop	0,1	LG Niedersachsen	83,1	83,0
A 33	AK Wünnenberg-Haaren	0,6	AK Bielefeld	46,8	46,2
A 40	BG Niederlande	0,0	AK Dortmund-West	20,6	88,1
A 42	AK Kamp-Lintfort	0,0	AK Castrop-Rauxel-Ost	58,2	58,2
A 43	AK Wuppertal-Nord	0,9	AK Münster-Süd	91,6	90,7
A 44	AK Aachen	11,1	AD Jackerath	45,5	34,4
	AK Neersen	66,8	AK Ratingen-Ost	104,8	38,0
	AS Meerhof	162,2	AK Dortmund/ Unna	247,4	85,2
A 45	AK Dortmund-Nordwest	0,0	LG Hessen	122,9	122,9
A 46	AK Neuss-Süd	70,8	AK Wuppertal-Nord	115,2	44,4
	AS Hüsten	157,1	AS Meschede	182,4	25,3
A 52	AS Mönchengladbach-Nord	26,4	Kreuz Kaarst	41,7	15,3
	AK Düsseldorf-Nord	56,8	AD Essen-Ost	82,9	26,1
A 57	BG Niederlande	0,0	AS Ehrenfeld	116,0	116,0
A 59	AS Duisburg-Fahrn	6,2	AK Duisburg-Süd	24,7	18,5
	AK Düsseldorf-Süd	0,0	AK Leverkusen-West	19,4	19,4
	AD Köln-Heumar	6,3	AD St. Augustin-West	23,4	17,1
A 61	AS Nettetal	9,0	AS Mönchengladbach-Rheydt	29,1	20,1
	AD Jackerath	43,5	LG Rheinland-Pfalz	110,3	66,8
					Summe: 1.688,0

Tab. 4-2: Betrachtete Autobahnen (Kilometerangaben enthalten teilweise Kilometrierungssprünge)

Zur Ermittlung der Ursachen der anhand der Verkehrsdaten ermittelten Staus wurden Unfall- und Baustellendaten ausgewertet. Die Unfalldaten umfassen dabei alle Unfälle mit Personenschaden und schwerem Sachschaden (Unfallkategorien 1-4), die sich auf Hauptfahrbahnen ereigneten. Bei schweren Unfällen ist davon auszugehen, dass ein in der Nähe und zum Zeitpunkt des Unfalls detekтирter Stau mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf den Unfall zurückzuführen ist. Unfälle mit leichtem Sachschaden (Unfallkategorie 5) wurden dagegen nicht berücksichtigt, da Bagatellunfälle einerseits nicht vollständig erfasst werden und andererseits der Zusammenhang mit detektierten Staus in der Nähe der Unfallstelle – z.B. bei Auffahrungsunfällen am Stauende – weniger eindeutig ist.

Die Baustellendaten umfassen Angaben zu insgesamt:

- 43 Vollsperrungen,
- 434 Dauerbaustellen,
- 12.635 Tagesbaustellen.

Für alle Baustellen lagen Daten zum Ort, zum Zeitraum und zur Verkehrsführung der Baustelle vor. Da Zeitangaben für die Vollsperrungen nur in Tagen vorlagen, wurde bei Vollsperrungen am Samstag und Sonntag von einer ganztägigen Sperrung und bei Vollsperrungen von Freitag bis Montag von einer Sperrung zwischen Freitag 22 Uhr und Montag 5 Uhr ausgegangen.

Für die Analyse des Staugeschehens wurden auf der Grundlage der vorliegenden Daten die folgenden Ursachen unterschieden:

- hohes Verkehrsaufkommen / sonstige,
- Tagesbaustellen,
- Dauerbaustellen (einschl. Vollsperrungen),
- Unfälle (Kat. 1-4).

Die Kategorie „hohes Verkehrsaufkommen / sonstige“ umfasst dabei alle Staus, für die keine Ursache identifiziert werden konnte. Dazu zählen auch Staus aufgrund von Bagatellunfällen.

Zur Plausibilisierung der ermittelten Ergebnisse hinsichtlich des Staugeschehens lagen Auswertungen des Stauauswertesystems (SAS) des Landes Nordrhein-Westfalen sowie der Gesamtdatenbestand der Störungsmeldungen für das Jahr 2010 vor. Bei diesen Daten handelt es sich um Meldungen, die von der Landesmeldestelle für den Verkehrswarndienst bereitgestellt werden. Eine Auswertung der Daten ergab jedoch einen sehr geringen Anteil von Staumeldungen, in denen die Ursache der Störung angegeben war. Die unvollständige Erfassung der Stauursachen ist darauf zurückzuführen, dass ein Großteil der Staumeldungen auf der automatischen Verkehrserfassung an Dauerzählstellen basiert und die Ursache der Störung bei diesen Meldungen nur in Einzelfällen manuell ergänzt wird. Eine Verknüpfung der Verkehrsdaten mit Baustellendaten, wie sie anhand des historischen Datenbestands in der vorliegenden Untersuchung durchgeführt wird, erfolgt bei der Ermittlung der Störungsmeldungen nicht. Bei Unfällen wäre eine solche Verknüpfung in Echtzeit gar nicht möglich, weil Unfalldaten erst nachträglich durch die Polizei eingegeben werden. Aufgrund der unvollständigen Erfassung der Stauursachen in den Störungsmeldungen eignen sich diese Daten ausschließlich zur Plausibilisierung der Gesamtstaudauer auf den einzelnen Abschnitten des Autobahnnetzes.

4.3 Datenauswertung

Die Analyse der Verkehrsdaten von Dauerzählstellen erfolgte auf der Grundlage von 5-Minuten- und Stunden-Intervallen. Dazu wurden die in 1-Minuten-Intervallen vorliegenden Verkehrsdaten entsprechend aggregiert. Die Zuordnung der Stauursachen

- Unfall,
- Tagesbaustelle und
- Dauerbaustelle / Vollsperrung

erfolgte in Stunden-Intervallen. Dies bedeutet: Sofern in einer Stunde im Einflussbereich des betrachteten Messquerschnitts ein Unfall eintrat oder eine Baustelle eingerichtet war, wurden alle 5-Minuten-Intervalle mit Stau oder stockendem Verkehr innerhalb dieser Stunde der entsprechenden Ursache zugeordnet.

Für die weiteren Datenanalysen wurden für jeden Messquerschnitt die folgenden Werte berechnet:

- Anzahl der 5-Minuten-Intervalle mit fehlenden Daten,
- Anzahl der 5-Minuten-Intervalle mit Stau, als Summe und differenziert nach Stauursachen,
- Summe der staubedingten Zeitverluste der Pkw und Lkw in 5-Minuten-Intervallen, als Summe und differenziert nach Stauursachen,
- Mittelwert der Pkw-, Lkw- und Kfz-Verkehrsstärken in Stunden-Intervallen,
- Mittelwert der mittleren Pkw- und Lkw-Geschwindigkeiten in Stunden-Intervallen,
- 5. Perzentil der mittleren Pkw- und Lkw-Geschwindigkeiten in Stunden-Intervallen.

Aus diesen Werten wurden u.a. berechnet:

- Durchschnittlicher Täglicher Verkehr (DTV), differenziert nach Kfz, Pkw und Lkw,
- Staudauer in Stunden pro Jahr, als Summe und differenziert nach Stauursachen,
- Produkt aus Staudauer und -länge, als Summe und differenziert nach Stauursachen,
- Summe der Zeitverluste pro Jahr, differenziert nach Kfz, Pkw und Lkw, jeweils als Summe und differenziert nach Stauursachen.

Bei der Ermittlung des DTV, der Summe der Zeitverluste und der Staudauer pro Jahr wurden die Mittel- bzw. Summenwerte für die vorliegenden Intervalle näherungsweise proportional auf das Gesamtjahr hochgerechnet.

Für die Identifikation von Stauintervallen und die Ermittlung der Fahrzeitverluste im Stau wurden zwei Geschwindigkeiten definiert:

- Die **Referenzgeschwindigkeit** ist die Bezugsgröße für die Ermittlung der staubedingten Fahrzeitverluste. Als Referenzgeschwindigkeit für Pkw kommen verschiedene Werte in Betracht. Einerseits kann die Geschwindigkeit im freien Verkehr als Bezugsgröße verwendet werden. Dies würde allerdings bedeuten, dass der „ideale“ Zustand eines Verkehrsflusses mit sehr geringer Verkehrsstärke, wie er in der Realität allenfalls in den Nachtstunden gegeben ist, als Referenzwert angesetzt wird. Ein solcher idealisierter Zustand eignet sich nicht als Zielgröße einer wirtschaftlich effizienten Verkehrsplanung. Andererseits kann die Geschwindigkeit bei Erreichen der Kapazität als Bezugsgröße verwendet werden. Allerdings handelt es sich dabei um einen instabilen Verkehrszustand, d.h. bereits kleine Störungen können einen lang andauernden Stau zur Folge haben. Daher werden in der vorliegenden Untersuchung für Pkw Referenzgeschwindigkeiten angesetzt, die sich an den Geschwindigkeiten des HBS (2001) bei einem Auslastungsgrad von 90 %, d.h. an der Grenze zwischen den Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs D und E (vgl. Tab. 2-1), orientieren. Dies entspricht dem Zustand des dichten, aber fließenden und stabilen Verkehrsflusses. Die Qualitätsstufe D wird üblicherweise vom Baulastträger als Zielvorgabe für Neu- und Ausbauvorhaben im Autobahnnetz festgelegt, so dass die Geschwindigkeit bei 90 % Auslastung als planerisch sinnvoller Referenzwert angesehen werden kann. Darüber hinaus wird bei etwa 90 % Auslastung das Maximum der Verkehrsleistung auf Autobahnen erreicht (BRILON e.a., 2005). Für Lkw wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h als Referenzwert verwendet.
- Die **Grenzgeschwindigkeit** kennzeichnet die mittlere Pkw-Geschwindigkeit in 5-Minuten-Intervallen, mit der die Zustände des fließenden Verkehrs und des Staus voneinander abgegrenzt werden. Die Grenzgeschwindigkeit liegt auf Autobahnen üblicherweise in einer Größenordnung von 70 bis 80 km/h. Sofern die mittlere Pkw-Geschwindigkeit in einem 5-Minuten-Intervall unter der Grenzgeschwindigkeit liegt, wird dieses Intervall als Stauintervall aufgefasst.

In der vorliegenden Untersuchung war es nicht möglich, die Werte für die Grenz- und Referenzgeschwindigkeit für jeden Messquerschnitt individuell zu ermitteln. Stattdessen wurde eine pauschale Differenzierung nach Strecken mit normalem Geschwindigkeitsniveau („Regelfall“), Strecken mit einem geringen Geschwindigkeitsniveau (z.B. aufgrund einer Geschwindigkeitsbeschränkung) sowie Strecken im Bereich von Baustellen durchgeführt (vgl. Tab. 4-3). Die Einstufung der Autobahnen erfolgte anhand der für jeden Messquerschnitt berechneten Mittelwerte der mittleren Pkw-Geschwindigkeiten in Stunden-Intervallen. Die in Tab. 4-3 angegebenen Grenz- und Referenzgeschwindigkeiten für Dauerbaustellen wurden nur für Messstellen im Bereich der Baustelle, nicht jedoch für Messstellen im Einflussbereich stromaufwärts der Baustelle angesetzt.

Streckentyp	Grenzgeschwindigkeit	Referenzgeschwindigkeit	
	Pkw	Pkw	Lkw
Regelfall	80 km/h	100 km/h	80 km/h
Autobahnabschnitte in Ballungsräumen mit geringem Geschwindigkeitsniveau	70 km/h	90 km/h	80 km/h
Dauerbaustelle mit $v_{zul} \geq 80 \text{ km/h}$	70 km/h	80 km/h	80 km/h
Dauerbaustelle mit $v_{zul} = 60 \text{ km/h}$	60 km/h	60 km/h	60 km/h

Tab. 4-3: Grenzgeschwindigkeiten für die Identifikation von Staus und Referenzgeschwindigkeiten für die Ermittlung der Fahrtzeitverluste

Bei einer Analyse des Verkehrsablaufs auf Autobahnen in 5-Minuten-Intervallen kann die sehr geringe Verkehrsbelastung in den Nachtstunden dazu führen, dass in einigen Intervallen aufgrund einzelner langsamer Fahrzeuge eine sehr geringe mittlere Pkw-Geschwindigkeit gemessen wird, obwohl ein freier Verkehrsfluss vorliegt. Dieser Effekt trat insbesondere auf den schwächer belasteten Autobahnen außerhalb von Ballungsräumen auf. Um zu vermeiden, dass diese Intervalle anhand der in Tab. 4-3 angegebenen Grenzgeschwindigkeiten als Stauintervalle erfasst werden, wurden die Zeiträume zwischen 0 und 5 Uhr bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Bei den an Dauerzählstellen gemessenen mittleren Geschwindigkeiten handelt es sich um lokale Größen (vgl. Abschnitt 2.1). Dagegen stellt die mittlere momentane Geschwindigkeit den Schätzwert für die Fahrtgeschwindigkeit dar. Die Unterschiede zwischen mittlerer momentaner und mittlerer lokaler Geschwindigkeit sind allerdings gering und liegen üblicherweise in einer Größenordnung von etwa 2 bis 3 km/h. Zur Vereinfachung der Datenauswertung wurden in der vorliegenden Untersuchung daher durchweg lokale Geschwindigkeiten betrachtet.

4.4 Staukenntgrößen

Zur Quantifizierung des Ausmaßes der Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen werden die folgenden Kenngrößen verwendet:

- **Staudauer [h/a]**

Die Staudauer gibt an, in wie vielen Stunden des Jahres Stau an einem Querschnitt vorlag.

- **Stauausdehnung = Produkt aus Staudauer und -länge [h · km/a]**

Die Stauausdehnung gibt das räumlich-zeitliche Ausmaß der Staus auf Autobahnen pro Jahr an. Sie wird als Produkt der querschnittsbezogenen ermittelten Staudauer und der Länge des dem Messquerschnitt zugeordneten Streckenabschnitts berechnet. Im Gegensatz zur Stau-

dauer lässt sich dieser Parameter über das Gesamtnetz aufsummieren. Durch Division der Stauausdehnung durch den mittleren Knotenpunktabstand lässt sich die Summe der abschnittsbezogenen Staudauern berechnen.

- **Summe der staubedingten Zeitverluste [Fz · h / a]**

Die Summe der staubedingten Zeitverluste gibt an, welche Fahrzeitverluste durch die geringeren Geschwindigkeiten im Stau bezogen auf die Referenzgeschwindigkeit (nach Tab. 4-3) pro Jahr verursacht werden. Die Berechnung erfolgt getrennt für Pkw und Lkw.

- **Summe der staubedingten Zeitkosten [€/a]**

Die Summe der staubedingten Zeitkosten gibt den volkswirtschaftlichen Wert der durch Staus verursachten Zeitverluste an. Dieser Parameter ergibt sich durch Multiplikation der staubedingten Zeitverluste für Pkw und Lkw mit den jeweiligen Zeitkostensätzen. Er ermöglicht insbesondere eine zusammenfassende Bewertung der Zeitverluste von Pkw und Lkw. Für die Monetarisierung der ermittelten Zeitverluste werden die Zeitkostensätze nach PLANCO (2000) verwendet, die auch im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung zur Anwendung kommen. Da im Rahmen der Datenauswertung keine Differenzierung der Zeitverluste nach Werktagen und Sonn-/Feiertagen erfolgte, wird überschlägig davon ausgegangen, dass bei den Pkw 90 % der Zeitverluste an Werktagen und 10 % der Zeitverluste an Sonn- und Feiertagen sowie bei Lkw aufgrund des Sonntagsfahrverbots alle Zeitverluste an Werktagen anfallen. Daraus ergeben sich mittlere Zeitkostensätze von 12,78 €/h für Pkw und 31,19 €/h für Lkw.

Hinsichtlich der staubedingten Zeitverluste und Zeitkosten ist zu beachten, dass die ermittelten Werte nur die auf den Autobahnen selbst entstandenen Zeitverluste einbeziehen. Zeitverluste und Zeitkosten, die durch das Ausweichen auf das nachgeordnete Netz entstehen, können anhand der vorliegenden Daten nicht erfasst werden. Weitere volkswirtschaftliche Kostenkomponenten, z.B. erhöhte Betriebs- und Treibstoffkosten aufgrund von Staus, werden in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet.

Die vorgenannten Kenngrößen beschreiben das Ausmaß der tatsächlich eingetretenen Staus und deren direkte Folgen (Fahrtzeitverluste bzw. -kosten) für die Verkehrsteilnehmer. Neben den direkten Folgen führt die Unzuverlässigkeit der Fahrtzeit aufgrund von Staus allerdings auch zu indirekten Konsequenzen für die Verkehrsteilnehmer. So muss ein Verkehrsteilnehmer, der sein Ziel unbedingt pünktlich erreichen will, einen Zeitpuffer einplanen, um mögliche Verzögerungen durch Staus kompensieren zu können. Diese Pufferzeit stellt für den Verkehrsteilnehmer unter Umständen auch dann einen Zeitverlust dar, wenn der Stau gar nicht eingetreten ist. Dies gilt beispielsweise für Arbeitnehmer mit festen Arbeitszeiten oder Just-in-Time-Transporte, bei denen bei einem zu frühen Eintreffen am Zielort die verbleibende Zeit nicht sinnvoll genutzt werden kann. Die Summe der aus der Unzuverlässigkeit des Verkehrsablaufs resultierenden indirekten Zeitverluste (Pufferzeiten) kann dabei deutlich über den direkten Zeitverlusten liegen. Allerdings lässt sich die Unzuverlässigkeit des Verkehrsablaufs wesentlich schwieriger quantifizieren als die Summe der direkten staubedingten Zeitverluste, da sie von zahlreichen individuellen Faktoren der Verkehrsteilnehmer (Fahrtroute, Nutzbarkeit der Pufferzeit bei einem zu frühen Eintreffen am Zielort etc.) abhängt und daher nicht direkt aus lokalen Messdaten abgeleitet werden kann. Aufgrund der Bedeutung der Zuverlässigkeit für die Bewertung des Verkehrsablaufs wird dennoch eine ungefähre Einschätzung dieses Aspekts anhand folgender Parameter durchgeführt:

- **Summe der Pufferzeit [Fz · h/a]**

Die Pufferzeit (engl. „Buffer Time“) wird als Differenz zwischen dem Mittelwert und dem 95. Perzentil der Fahrtzeit definiert (vgl. LOMAX e.a., 2004). Die Pufferzeit gibt an, welche zusätzliche Fahrtzeit im Vergleich zur mittleren Fahrtzeit ein Verkehrsteilnehmer einplanen muss, wenn er sein Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % pünktlich erreichen will. Eine Wahrscheinlichkeit des pünktlichen Eintreffens von 95 % bedeutet, dass bei einer von 20 Fahrten eine Verspätung eintritt. Analog könnte auch mit höheren oder geringeren Wahrscheinlichkeiten gerechnet werden.

- **Summe der Pufferzeitkosten [€/a]**

Die Summe der Pufferzeitkosten ergibt sich durch Multiplikation der Pufferzeiten für Pkw und Lkw mit den jeweiligen Zeitkostensätzen.

Die Mittel- und Perzentilwerte der Fahrtzeit werden aus der abschnittsbezogenen Verteilung der mittleren Pkw- bzw. Lkw-Geschwindigkeiten in Stunden-Intervallen abgeleitet. Die Abhängigkeit der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs von der Tageszeit und dem Wochentag sowie die Zusammenhänge zwischen den Überlastungswahrscheinlichkeiten an aufeinander folgenden Streckenabschnitten, die für die routenbezogene Fahrtzeit von Bedeutung sind, bleiben bei dieser stark vereinfachenden Betrachtung unberücksichtigt.

5. Ergebnisse

5.1 Ausmaß und Ursachen der Staus auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen

Im Ergebnis der empirischen Auswertungen wurde für die analysierten Streckenabschnitte der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen (1.668 km = 3.336 Richtungs-km) insgesamt eine Stauausdehnung von 310.590 h · km (Stunden mal Richtungs-km) im Jahr 2010 ermittelt (vgl. Tab. 5-1). Bei proportionaler Hochrechnung auf die Gesamtlänge des Autobahnnetzes (2.200 km = 4.400 Richtungs-km) ergibt sich eine Stauausdehnung von rund 400.000 h · km im Jahr. Dies bedeutet, dass der Verkehr auf jedem Kilometer Richtungsfahrbahn der nordrhein-westfälischen Autobahnen in durchschnittlich rund 90 Stunden pro Jahr gestaut ist. Dabei ist das Ausmaß der Staus allerdings sehr ungleich über das Netz verteilt (vgl. Anhang).

	alle Ursachen	hohes Verkehrsaufk. / sonstige	Tagesbaustelle	Dauerbaustelle	Unfall (Kat. 1-4)
Analysierte Streckenabschnitte	310.590	143.334	13.125	138.527	15.605
Hochrechnung auf das Gesamtnetz	409.651	189.050	17.311	182.709	20.582

Tab. 5-1: Stauausdehnung [h · km] im Jahr 2010 auf den analysierten Streckenabschnitten (3.336 Richtungs-km) und hochgerechnet auf das Gesamtnetz der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen (4.400 Richtungs-km)

Die Differenzierung der Stauausdehnung nach Stauursachen (Bild 5-1) zeigt, dass die Anteile der auf hohes Verkehrsaufkommen und sonstige Ursachen sowie Tages- und Dauerbaustellen zurückzuführenden Staus mit 46,1 bzw. 44,6 % nahezu gleich groß sind, während der Anteil der durch schwere Unfälle verursachten Staus nur 5,0 % beträgt. Auffallend im Vergleich zu anderen Untersuchungen (vgl. Bild 2-3) ist insbesondere der hohe Anteil der Staus aufgrund von Tages- und Dauerbaustellen. Das hohe Stauaufkommen an Dauerbaustellen ist dabei zu einem erheblichen Teil auf Ausbaumaßnahmen an gravierenden Engpässen, an denen auch ohne die Einrichtung der Baustelle erhebliche Staus aufgetreten wären, zurückzuführen. Hinsichtlich des sehr geringen Anteils der unfallbedingten Staus ist zu berücksichtigen, dass Staus aufgrund von Bagatellunfällen in der Kategorie „hohes Verkehrsaufkommen / sonstige“ enthalten sind.

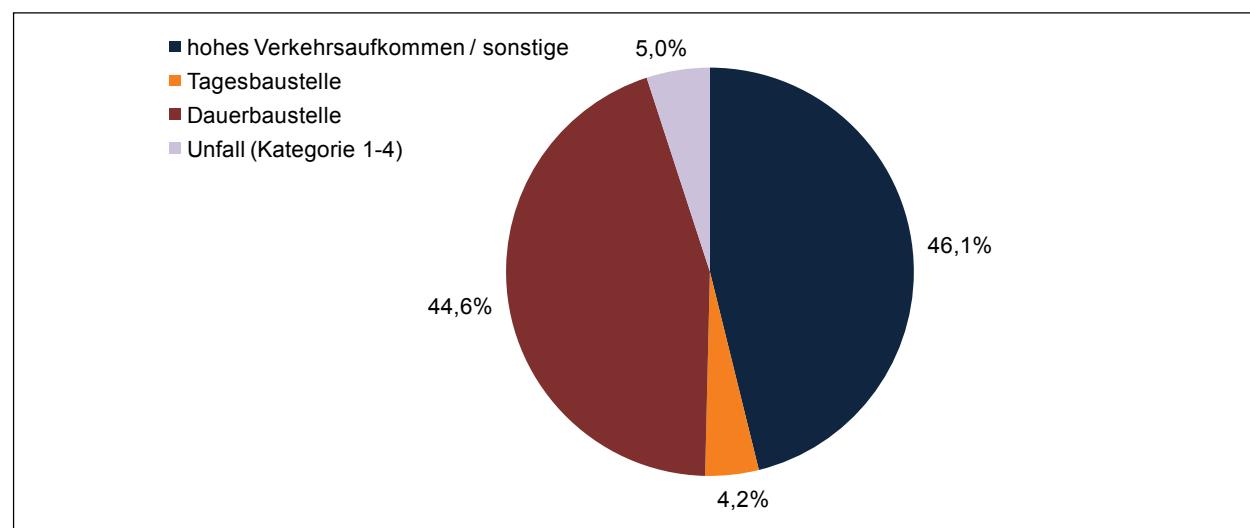


Bild 5-1: Stauausdehnung [h · km] nach Ursachen

Die Ermittlung der staubedingten Fahrzeitverluste der Pkw und Lkw anhand der an Dauerzählstellen gemessenen Geschwindigkeiten ergab die in Tab. 5-2 angegebenen Summenwerte. Hochgerechnet auf das Gesamtnetz der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen ergeben sich staubedingte Fahrzeitverluste in Höhe von rund 14 Mio. Fz · h für die Pkw sowie 2,5 Mio. Fz · h für die Lkw pro Jahr. Die Werte beziehen sich auf die Referenzgeschwindigkeiten nach Tab. 4-3 und repräsentieren ausschließlich die auf den Autobahnen angefallenen Fahrzeitverluste der vom Stau betroffenen Verkehrsteilnehmer, d.h. ohne Berücksichtigung der Zeitverluste durch das Ausweichen auf Alternativrouten im nachgeordneten Netz. Unter Ansatz der Zeitkostensätze nach PLANCO (2000) ergeben sich aus den staubedingten Zeitverlusten auf den Autobahnen volkswirtschaftliche Kosten in Höhe von rund 250 Mio. € pro Jahr (Tab. 5-3). Die Aufteilung der Zeitkosten nach Ursachen zeigt Bild 5-2.

		alle Ursachen	hohes Verkehrsaufk. / sonstige	Tagesbaustelle	Dauerbaustelle	Unfall (Kat. 1-4)
Analysierte Streckenabschnitte	Pkw	10.500.736	4.840.653	416.545	4.561.383	682.155
	Lkw	1.944.415	771.919	94.828	942.084	135.584
Hochrechnung auf das Gesamtnetz	Pkw	13.849.892	6.384.555	549.399	6.016.213	899.725
	Lkw	2.564.577	1.018.119	125.073	1.242.557	178.827

Tab. 5-2: Summe der staubedingten Zeitverluste [Fz · h] der Pkw und Lkw im Jahr 2010 auf den analysierten Streckenabschnitten (3.336 Richtungs-km) und hochgerechnet auf das Gesamtnetz der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen (4.400 Richtungs-km)

	alle Ursachen	hohes Verkehrsaufk. / sonstige	Tagesbaustelle	Dauerbaustelle	Unfall (Kat. 1-4)
Analysierte Streckenabschnitte	194,8 Mio. €	85,9 Mio. €	8,3 Mio. €	87,7 Mio. €	12,9 Mio. €
Hochrechnung auf das Gesamtnetz	257,0 Mio. €	113,3 Mio. €	10,9 Mio. €	115,6 Mio. €	17,1 Mio. €

Tab. 5-3: Summe der staubedingten Zeitkosten im Jahr 2010 für die analysierten Streckenabschnitte (3.336 Richtungs-km) und hochgerechnet auf das Gesamtnetz der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen (4.400 Richtungs-km)

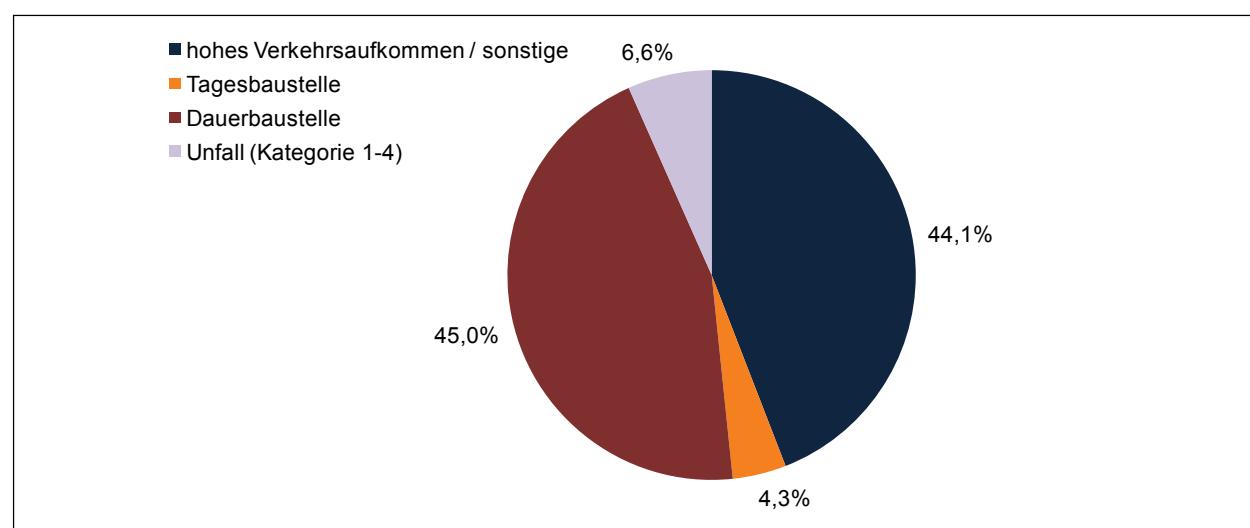


Bild 5-2: Zeitkosten infolge von Staus nach Ursachen

Eine Ermittlung des Anteils der Bagatellunfälle (Unfallkategorie 5) und der Pannenereignisse am gesamten Ausmaß der Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen ist auf der Grundlage der verfügbaren Daten nicht möglich. Unfälle der Kategorie 5 treten wesentlich häufiger auf als Unfälle mit Personenschaden oder schwerem Sachschaden, haben aufgrund ihrer geringeren Schwere jedoch in aller Regel deutlich geringere Verkehrseinschränkungen zur Folge, da die Fahrzeuge – gemäß der Definition der Unfallkategorie 5 – noch fahrtüchtig sind. Es wird geschätzt, dass das Ausmaß der durch Unfälle und Pannen insgesamt verursachten Staus ungefähr doppelt so groß ist wie das Ausmaß der durch schwere Unfälle verursachten Staus. Damit ergibt sich ungefähr die in Bild 5-3 dargestellte Aufteilung der Stauursachen Unfall / Panne, Baustelle und hohes Verkehrsaufkommen.

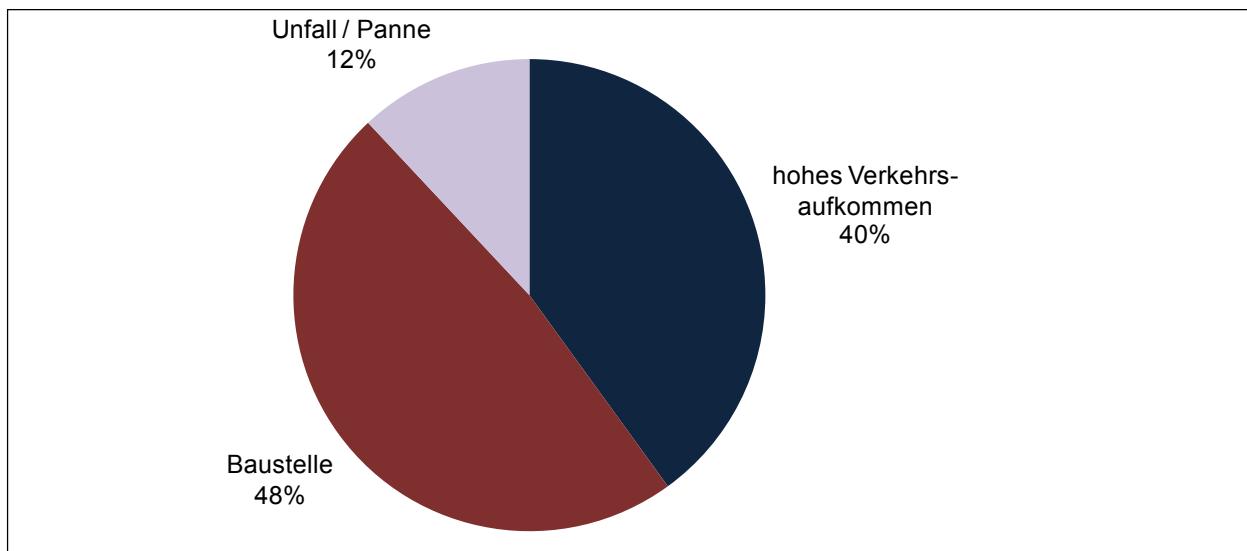


Bild 5-3: Geschätzte Anteile der Ursachen „Unfall / Panne“, „Baustelle“ und „hohes Verkehrsaufkommen“ am gesamten Ausmaß der Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen

Die ermittelten Fahrtzeitverluste beschreiben das Ausmaß der tatsächlich auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen aufgetretenen Staus. Neben den direkten Auswirkungen von Staus führt jedoch auch die Unzuverlässigkeit des Verkehrsablaufs zu indirekten Zeitaufwänden für die Verkehrsteilnehmer, sofern diese ihr Ziel pünktlich erreichen müssen und daher einen zusätzlichen Zeitpuffer einplanen. Um die Größenordnung dieses Effekts einzuschätzen, wurden die Differenzen zwischen dem 95. Perzentil und dem Mittelwert der Fahrtzeiten in Stunden-Intervallen ermittelt (vgl. Abschnitt 4.4). Dabei wurde unterstellt, dass 20 % der Pkw und 50 % der Lkw einen zusätzlichen Zeitpuffer einplanen, so dass sie in 95 % der Fälle ihr Ziel pünktlich erreichen. Die in Tab. 5-4 angegebenen Ergebnisse dieser überschlägigen Berechnung zeigen, dass die aus der Unzuverlässigkeit des Verkehrsablaufs resultierenden Zeitverluste in einer ähnlichen Größenordnung wie die direkten Zeitverluste infolge der tatsächlich eingetretenen Staus liegen können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die ermittelten Pufferzeiten nur eine ungefähre Schätzung darstellen, da den Berechnungen zahlreiche Annahmen und erhebliche Vereinfachungen zugrunde liegen. Sowohl der Anteil der Pkw und Lkw, die einen zusätzlichen Zeitpuffer zum pünktlichen Erreichen ihres Ziels einplanen, als auch die zugrunde liegende Verspätungswahrscheinlichkeit von 5 % können nur als Anhaltspunkte angesehen werden. Auch bleibt die Abhängigkeit des Verspätungsrisikos von der Tageszeit und der Fahrtroute bei dieser vereinfachten Betrachtung unberücksichtigt. Dennoch sind die Berechnungen ein Indiz dafür, dass der Aspekt der Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs einen nicht unerheblichen Faktor für die Bewertung der Auswirkungen von Verkehrsstaus darstellt.

	25 % der Pkw	50 % der Lkw
Analysierte Streckenabschnitte	10.213.475	3.194.237
Hochrechnung auf das Gesamtnetz	13.471.010	4.213.023

Tab. 5-4: Summe der Pufferzeiten [Fz · h] für die analysierten Streckenabschnitte (3.336 Richtungs-km) und hochgerechnet auf das Gesamtnetz der Autobahnen in Nordrhein-Westfalen (4.400 Richtungs-km)

5.2 Engpässe im Autobahnnetz

Auf der Grundlage der querschnittsbezogenen Auswertungen der an den Dauerzählstellen aufgezeichneten Geschwindigkeiten wurde die räumliche Verteilung der Staus im Autobahnnetz des Landes Nordrhein-Westfalen analysiert. Eine Darstellung der Dauer der Staus pro Jahr auf den einzelnen Streckenabschnitten (Richtungsfahrbahnen zwischen Knotenpunkten) auf einer schematischen Karte ist im Anhang enthalten. Dabei wurde für Abschnitte mit mehreren Dauerzählstellen jeweils das Maximum der im Bereich des Abschnitts ermittelten Staudauern zugrunde gelegt. Die Streckenabschnitte wurden in sechs Staudauerklassen eingeteilt:

- 0 bis 50 Stunden Stau pro Jahr,
- 50 bis 100 Stunden Stau pro Jahr,
- 100 bis 200 Stunden Stau pro Jahr,
- 200 bis 400 Stunden Stau pro Jahr,
- 400 bis 800 Stunden Stau pro Jahr,
- mehr als 800 Stunden Stau pro Jahr.

Ein Abgleich mit den abschnittsbezogenen Daten des Stauauswertesystems (SAS) ergab eine weitgehende Übereinstimmung.

Anhand der querschnittsbezogenen Ergebnisse wurden in einem weiteren Schritt die größten Engpässe im Autobahnnetz identifiziert. Dazu wurden alle Bereiche, für die eine Staudauer von mindestens 100 Stunden pro Jahr ermittelt wurde, einer detaillierten Betrachtung unterzogen. Durch die Zusammenfassung zusammenhängender Abschnitte mit einer durchgehenden Stauausbreitung wurden insgesamt 25 Engpässe im Autobahnnetz identifiziert. Die Engpässe erstrecken sich über eine Gesamtlänge von rund 600 Richtungskilometern.

Für jeden Engpass wurde das Ausmaß der Staus auf den zugehörigen Abschnitten aufsummiert und daraus eine Rangfolge der Engpässe nach dem Ausmaß der durch Staus verursachten Zeitverluste erstellt. Um eine zusammenfassende Bewertung der Zeitverluste der Pkw und Lkw zu ermöglichen, wurden die Zeitkosten als Beurteilungsgröße verwendet. Die Ergebnisse sind in Tab. 5-5 angegeben. Die Lage der Engpässe zeigt Bild 5-4. Zu berücksichtigen ist, dass sich dieser Teil der Auswertungen nur auf die Streckenabschnitte bezieht, von denen Daten von Dauerzählstellen verfügbar waren.

Nr.	Bezeichnung	Zeitverluste der Pkw [Fz · h]	Zeitverluste der Lkw [Fz · h]	Zeitkosten (Pkw + Lkw) [€]	Stauausdehnung [h · km]
1	A 3 Kölner Ring Ost	1.237.230	222.627	22.755.537	29.406
2	A 1 Kölner Ring West	873.282	222.700	18.106.567	19.403
3	A 40 Essen - Bochum	886.196	133.911	15.502.282	22.770
4	A 3 Oberhausen - Duisburg	566.885	89.129	10.024.731	14.438
5	A 3 / A 52 Kreuz Breitscheid	512.752	67.992	8.673.654	11.163
6	A 3 / A 46 Kreuz Hilden	486.405	75.856	8.582.207	10.736
7	A 46 Wuppertal	414.923	75.512	7.657.938	16.447
8	A 1 / A 44 Kreuz Dortmund/Unna	370.992	74.720	7.071.776	13.171
9	A 43 Bochum - Recklinghausen	367.214	45.471	6.111.237	13.108
10	A 57 Neuss	324.932	52.749	5.797.859	9.639
11	A 59 / A 40 Kreuz Duisburg	312.731	50.006	5.556.393	8.108
12	A 2 Hamm - Kamen	186.050	67.831	4.493.361	14.495
13	A 57 Krefeld	230.762	35.338	4.051.326	8.216
14	A 40 Duisburg-Homberg	171.789	43.569	3.554.390	3.916
15	A 59 Köln - St. Augustin-West	201.081	24.997	3.349.455	5.449
16	A 40 Mülheim - Essen	202.248	23.669	3.322.968	6.218
17	A 4 Kölner Ring Süd	185.675	27.829	3.240.908	4.288
18	A 40 / A 52 Dreieck Essen-Ost	142.888	25.148	2.610.483	3.795
19	A 57 Köln	156.397	8.454	2.262.440	3.936
20	A 42 Essen - Gelsenkirchen	123.527	20.332	2.212.848	4.655
21	A 45 Hagen - Westhofen (FR Nord)	105.323	22.568	2.049.931	3.875
22	A 46 Haan-Ost (FR Ost)	91.338	11.213	1.517.028	1.411
23	A 4 Köln - Moitzfeld	79.823	8.293	1.278.787	2.622
24	A 2 / A 31 Kreuz Bottrop	61.123	15.796	1.273.821	2.154
25	A 4 / A 44 Kreuz Aachen	55.748	9.727	1.015.846	2.384
-	Summe der sonstigen Abschnitte	2.153.423	488.978	42.771.953	74.785
	Summe	10.500.736	1.944.415	194.845.724	310.590

Tab. 5-5: Zuordnung der ermittelten Zeitverluste und Zeitkosten infolge von Staus sowie der Staudauern zu den größten Engpässen auf den betrachteten Streckenabschnitten des Autobahnnetzes

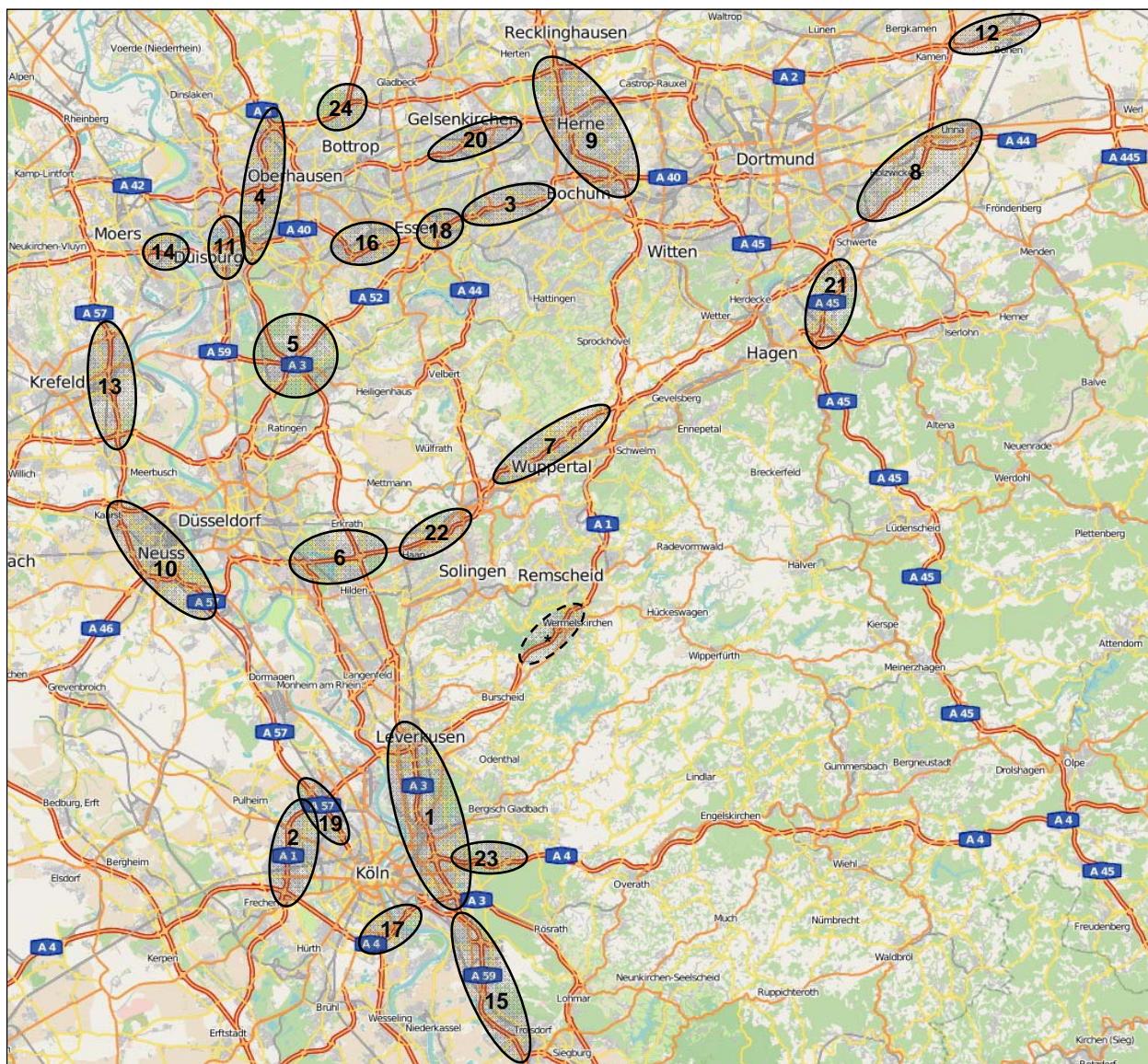


Bild 5-4: Lage der gravierendsten Engpässe im Autobahnnetz (Nummerierung nach der Höhe der verursachten Zeitverluste, * = Engpass ohne verfügbare Daten)

Bild 5-5 stellt die Anteile der größten Engpässe an der Summe der Stauausdehnung im betrachteten Teil des Autobahnnetzes von Nordrhein-Westfalen graphisch dar. Bild 5-6 zeigt die Rangfolge der Engpässe nach ihrem Anteil an der Summe der Zeitkosten infolge von Staus. Bei beiden Kenngrößen beträgt der Anteil der 25 Engpässe am gesamten Ausmaß der Staus in Nordrhein-Westfalen mehr als 75 %. Rund 25 % der Stauauswirkungen werden allein durch die drei größten Engpässe verursacht:

- A 3 Kölner Ring Ost (einschließlich der Zulaufstrecken auf der A 1, A 4 und A 59),
- A 1 Kölner Ring West (einschließlich der Zulaufstrecken auf der A 4),
- A 40 Essen – Bochum.

Das gravierende Ausmaß der Staus an diesen Engpässen ergibt sich in allen drei Fällen durch eine sehr hohe Streckenauslastung in Verbindung mit zusätzlichen Kapazitätseinbußen aufgrund laufender Ausbaumaßnahmen. Eine detaillierte Analyse der Ursachen und möglicher Maßnahmen zur Verbesserung der Stausituation an den Engpässen im Autobahnnetz wird in Abschnitt 6.2 durchgeführt.

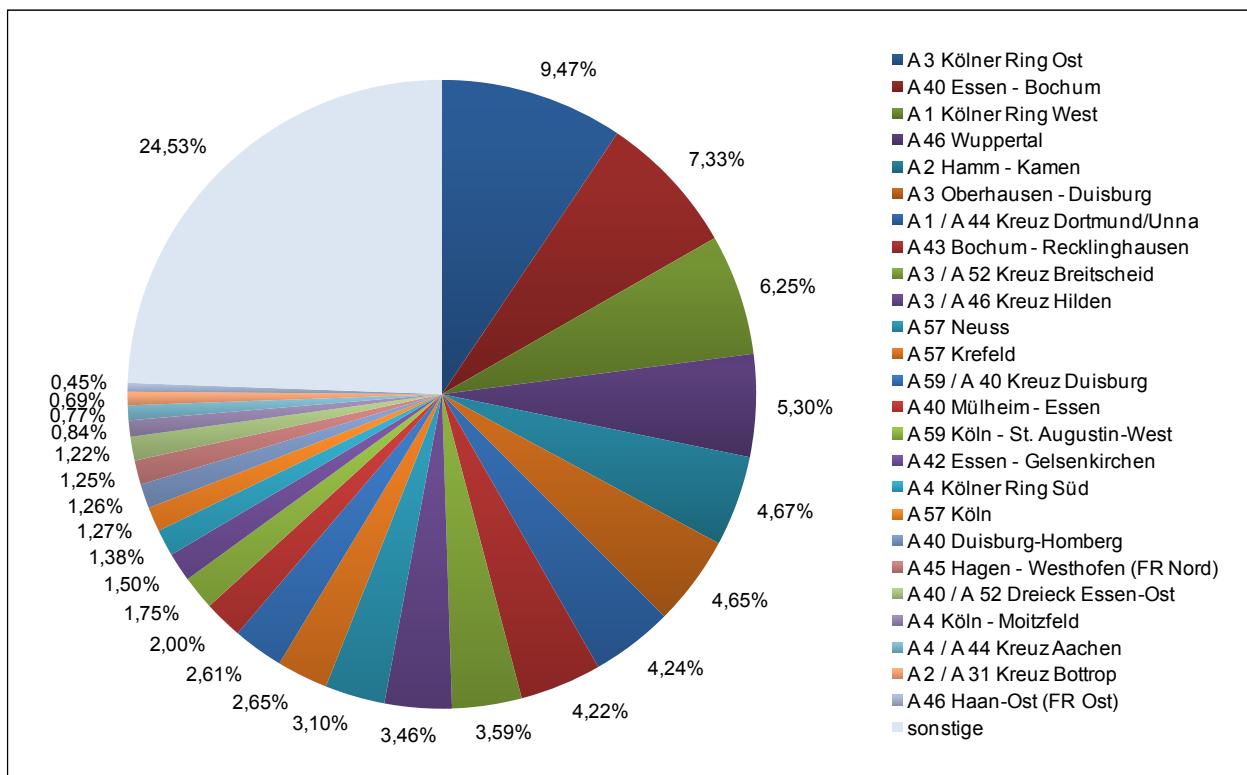


Bild 5-5: Anteil der größten Engpässe an der Summe der Stauausdehnung [h · km] im betrachteten Teil des Autobahnnetzes von Nordrhein-Westfalen

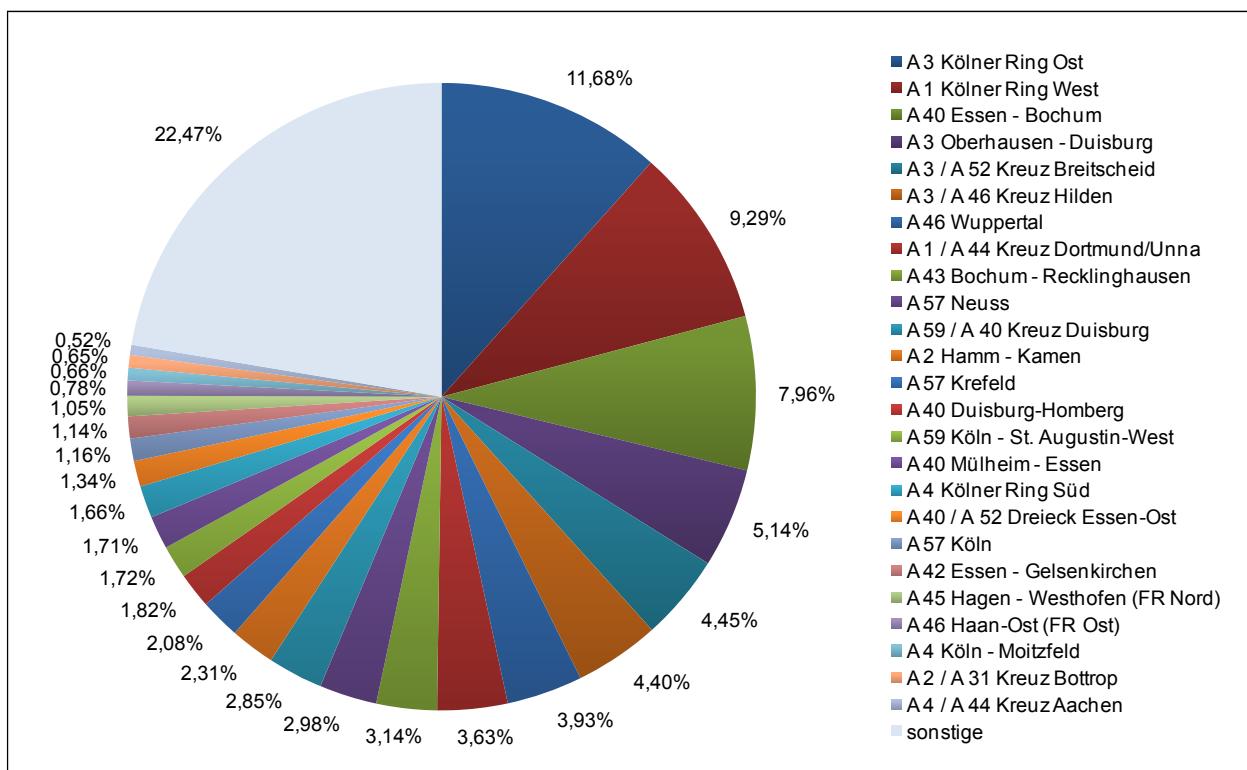


Bild 5-6: Anteil der größten Engpässe an der Summe der Zeitkosten infolge von Staus im betrachteten Teil des Autobahnnetzes von Nordrhein-Westfalen

6. Maßnahmen zur Verbesserung der Stausituation

6.1 Allgemeine Maßnahmen

In Abschnitt 3 wurden mögliche Handlungsfelder und Maßnahmen beschrieben, mit denen einerseits Staus auf Autobahnen reduziert oder vermieden sowie andererseits die negativen Auswirkungen von Staus auf die Verkehrsteilnehmer begrenzt werden können. Durch die Verknüpfung der Erkenntnisse aus der Literaturanalyse mit den Ergebnissen der empirischen Analyse werden diese Maßnahmen im Folgenden bezüglich ihres Potenzials zur Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen analysiert und bewertet. Bei dieser Betrachtung werden Infrastrukturmaßnahmen nicht einbezogen, da sich die vorliegende Untersuchung auf kurzfristig umsetzbare Maßnahmen zur Verbesserung der Stausituation bezieht. Ausbaumaßnahmen sind prinzipiell immer geeignet, Engstellen im Autobahnnetz zu beseitigen, die Planung und Bewertung von Ausbaumaßnahmen ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

Die Bewertung der Handlungsfelder und Maßnahmen erfolgt dabei anhand der folgenden Kriterien:

- Wirksamkeit / Effektivität: Das Kriterium beschreibt, inwieweit eine Maßnahme allgemein das Ausmaß der Staus auf Autobahnen beeinflussen oder die Auswirkungen von Staus auf die Verkehrsteilnehmer minimieren kann.
- Effizienz bzgl. Kosten und Dauer der Umsetzung: Die Effizienz repräsentiert das Verhältnis der Wirksamkeit der Maßnahme zu den Kosten und der Dauer für ihre Umsetzung.
- Umsetzbarkeit in Zuständigkeit des Landes: Das Kriterium beschreibt, inwieweit die Maßnahme in eigener Zuständigkeit des Landes umgesetzt werden kann. Abhängigkeiten von anderen Gebietskörperschaften (insbesondere vom Bund als Straßenbaulastträger für die Bundesautobahnen) betreffen dabei sowohl die Finanzierung der Maßnahme als auch die ggf. notwendige Schaffung rechtlicher Rahmenbedingungen, soweit sie nicht in der Zuständigkeit des Landes liegen.
- Möglicher Beitrag zur Verbesserung der Stausituation: Das Kriterium bewertet den kurzfristig erreichbaren Beitrag der Maßnahme zur Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen und ausgehend vom derzeitigen Umsetzungsstand.

Die Kriterien werden in einer fünfstufigen Skala bewertet. Anhand der zusammenfassenden Bewertung der Einzelkriterien erfolgt eine Einschätzung die Priorität der einzelnen Maßnahmen im Sinne einer Handlungsempfehlung für die Verbesserung der Stausituation in Nordrhein-Westfalen.

Die Ergebnisse der Bewertung sind in Tab. 6-1 zusammengefasst. Sie werden folgendermaßen begründet:

- **Telematikeinrichtungen:**

Netzbeeinflussungsanlagen reduzieren die Auswirkungen gravierender Störungen durch die Umleitung des Verkehrs auf Alternativrouten. Durch das engmaschige Autobahnnetz in Nordrhein-Westfalen ergeben sich umfangreiche Möglichkeiten zur Alternativroutensteuerung. An vielen Autobahnknotenpunkten wurden in den vergangenen Jahren bereits dWiSta-Tafeln installiert, so dass Entwicklungspotenziale in erster Linie noch hinsichtlich der Realisierung einer automatisierten und besser vernetzten Steuerung der vorhandenen Anlagen bestehen.

Streckenbeeinflussungsanlagen werden ebenfalls bereits auf zahlreichen Autobahnen in Nordrhein-Westfalen eingesetzt und leisten durch die Harmonisierung des Verkehrsablaufs und die Verbesserung der Verkehrssicherheit einen Beitrag zur Vermeidung von Staus. Weitere Anlagen sollten vor allem auf hoch belasteten Autobahnen noch ergänzt werden.

Die temporäre Seitenstreifenfreigabe zählt zu den effektivsten Maßnahmen zur Stauvermeidung, weil durch die erhebliche Kapazitätswirkung dieser Anlagen Engpässe im Zuge von Streckenabschnitten behoben werden können. Bislang ist in Nordrhein-Westfalen nur ein kurzer Abschnitt der Autobahn A 4 bei Refrath mit einer temporären Seitenstreifenfreigabe ausgestattet, so dass noch erhebliches Entwicklungspotenzial vorhanden ist.

Bei der Zuflussregelung, die ebenfalls sehr effektiv zur Stauvermeidung beitragen kann, bestehen demgegenüber allenfalls noch punktuelle Ergänzungsmöglichkeiten, da in der Vergangenheit bereits zahlreiche Anlagen an hoch belasteten Einfahrten installiert wurden.

Die variable Fahrstreifenzuteilung eignet sich nur in Sonderfällen zur Verbesserung des Verkehrsablaufs an Autobahnknotenpunkten und kann daher keinen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Stausituation in Nordrhein-Westfalen leisten.

Grundlage für eine effektive Verkehrssteuerung ist eine umfassende Datengrundlage. Die noch bestehenden Lücken in der Datenerfassung, insbesondere auf den Autobahnen A 1 Wuppertal – Burscheid, A 4 Bergisch Gladbach – Olpe und A 46 Neuss – Heinsberg, sollten geschlossen werden. Eine Erschließung neuer Datenquellen ist insbesondere im Hinblick auf die Einbeziehung des nachgeordneten Netzes in die Netzsteuerung sinnvoll.

Von zentraler Bedeutung für eine effektive und effiziente Steuerung der Telematiksysteme und ihre Einbettung in das Verkehrsmanagement ist eine funktionierende Verkehrszentrale. Angesichts der derzeitigen räumlichen und organisatorischen Zersplitterung der Aufgaben der Verkehrszentrale ergibt sich durch die geplante Einrichtung der Verkehrszentrale NRW ein erhebliches Entwicklungspotenzial im Hinblick auf ein effektives Verkehrsmanagement.

- **Straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen:**

Geschwindigkeitsbeschränkungen sind nach Maßgabe der Regelungen der StVO zur Gewährleistung eines sicheren Verkehrsablaufs auf unfallauffälligen Abschnitten einzusetzen, eignen sich jedoch nicht als Maßnahme zur Stauvermeidung.

Lkw-Überholverbote werden in Nordrhein-Westfalen bereits entsprechend der verkehrlichen Notwendigkeiten zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs eingesetzt; das darüber hinausgehende Potenzial zur Stauvermeidung ist gering. Für eine flexible, verkehrsabhängige Anordnung von Lkw-Überholverboten sind Streckenbeeinflussungsanlagen besonders geeignet.

Mit Detaillösungen auf dem Gebiet der Markierung und Wegweisung, insbesondere in Verbindung mit einer Umsortierung des Verkehrsraums, kann unter bestimmten Randbedingungen die Kapazität vor allem an komplexen Knotenpunkten mit geringem Aufwand erhöht werden. Allerdings wurden zahlreiche solcher Maßnahmen bereits umgesetzt.

- **Baustellenmanagement:**

Wie die empirischen Analysen des Staugeschehens gezeigt haben, wurde im Jahr 2010 fast die Hälfte aller Staus in Nordrhein-Westfalen durch Baustellen verursacht. Daher ergeben sich für die Optimierung des Baustellenmanagements erhebliche Potenziale. Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen von Baustellen auf den Verkehrsablauf sind hoch wirksam und effizient, da z.B. bereits durch reine Prozessoptimierungen erhebliche Effekte erreichbar sind. Darüber hinaus können Verbesserungen im Baustellenmanagement zu einem erheblichen Teil in alleiniger Zuständigkeit des Landes umgesetzt werden.

Innovative verkehrstechnische Detaillösungen zur Verbesserung des Verkehrsablaufs im Bereich von Baustellen werden in Nordrhein-Westfalen bereits seit Jahren erfolgreich eingesetzt. Defizite bestehen jedoch noch hinsichtlich der Vorgaben für die Baustellenplanung (z.B. Verzicht auf Fahrstreifenreduktionen, zulässige Zeitbereiche für die Baustelleneinrichtung etc.), um die Verkehrsbeeinträchtigungen aufgrund von Baustellen so gering wie möglich zu halten. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang eine effektive Überwachung der Einhaltung der Vorgaben, z.B. durch die Straßenverkehrsbehörde.

- **Störungsmanagement:**

Störungen des Verkehrsablaufs durch schwere Unfälle oder Großereignisse führen häufig zu erheblichen Beeinträchtigungen des Verkehrsablaufs, die – im Fall zufälliger Ereignisse – für den Verkehrsteilnehmer nicht vorhersehbar sind. Maßnahmen zur Beschleunigung der Störungsbeseitigung und zur rechtzeitigen Information der Verkehrsteilnehmer sind daher hoch wirksam, erfordern aber teilweise eine Veränderung gewachsener Organisationsstrukturen sowie eine Anpassung gesetzlicher Rahmenbedingungen, die nicht in der Hoheit der Länder liegen. Die Weiterentwicklung des Störungsmanagements ist daher eher als langfristige Perspektive anzusehen.

- **Mobilitätsmanagement:**

Die Weiterentwicklung des betrieblichen Mobilitätsmanagements liegt nicht in der unmittelbaren Zuständigkeit des Landes und hat daher allenfalls indirekte Auswirkungen auf die Stausituation.

Intermodale Angebote sind bereits in großer Vielfalt vorhanden, der mögliche Beitrag eines weiteren Ausbaus dieser Angebote auf die Stauvermeidung ist angesichts des allenfalls sehr indirekten Einflusses solcher Maßnahmen und des bereits vorhandenen Umsetzungsstands sehr gering.

Eine tageszeitlich oder streckenabhängig differenzierte Mautbepreisung für Lkw kann prinzipiell ein wirksames Steuerungsinstrument zur Senkung des Schwerverkehrsanteils auf hoch belasteten Autobahnen sein, angesichts möglicher unerwünschter Begleiterscheinungen (z.B. die Verlagerung des Lkw-Verkehrs in das nachgeordnete Netz) sowie der nicht vorhandenen rechtlichen Voraussetzungen ist die kurzfristige Umsetzung einer solchen Maßnahme als nicht realistisch anzusehen.

- **Verkehrsinformation und Navigation:**

Die Erweiterung der Datengrundlage und die Optimierung der Meldekette können wertvolle Beiträge für die weitere Verbesserung der Qualität von Verkehrsmeldungen sein. Die Verbesserung der Verkehrsinformationen steht dabei in einem engen Zusammenhang mit der Bündelung der Verkehrsmanagementkompetenzen in der Verkehrszentrale NRW.

- **Neue Technologien:**

Durch die zunehmende Verbreitung von sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen können Unfälle und in der Konsequenz die aus Unfällen resultierenden Staus wirksam vermieden werden. Maßnahmen zur Erhöhung der Ausstattungsraten von Fahrerassistenzsystemen durch Anreizsysteme oder gesetzliche Regelungen liegen jedoch nicht in der Zuständigkeit der Länder.

Kooperative Telematiksysteme können in der Zukunft einen wesentlichen Beitrag zur weiteren Verbesserung der Verkehrssicherheit und -effizienz leisten. Da sich solche Systeme jedoch noch im Forschungsstadium befinden, scheiden sie als kurzfristige Maßnahme zur Verbesserung der Stausituation aus.

Handlungsfeld / Maßnahme	Wirksamkeit / Effektivität	Effizienz bzgl. Kosten und Dauer der Umsetzung	Umsetzbarkeit in Zuständigkeit des Landes	Mögl. Beitrag zur Verbesserung der Stausituation	Priorität
Telematikeinrichtungen: - Netzbeeinflussung - Streckenbeeinflussung - Temporäre Seitenstreifenfreigabe - Zuflussregelung - Variable Fahrstreifenzuteilung - Datenerfassung - Verkehrszentrale	++ + ++ ++ + + ++	+ + ++ + ○ + ++	+	O O ¹⁾ O ¹⁾ ++ ○ ¹⁾ -- ○ ¹⁾ ++	++ ++ ++ ++ + ++ ++
Straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen: - Geschwindigkeitsbeschränkungen - Lkw-Überholverbote - Markierung und Wegweisung	-- ○ +	○ ++ ++	++ ++ ++	-- -- ○ ¹⁾	O - + +
Baustellenmanagement	++	++	++	++	++
Störungsmanagement	++	+	○	+	+
Mobilitätsmanagement: - Betriebliches Mobilitätsmanagement - Intermodale Angebote - Differenzierte Mautbepreisung	- ²⁾ - ²⁾ +	○ ○ ○	- ○ --	-- -- -	- - -
Verkehrsinformation und Navigation: - Erweiterung der Datengrundlage - Optimierung der Meldekette	+	+	+	+	+
Neue Technologien: - Fahrerassistenzsysteme - Kooperative Telematiksysteme	+	○ ³⁾ - ³⁾	-- ○	- -	- ○

++ sehr hoch + hoch ○ mittel - gering -- sehr gering

1) Abwertung aufgrund des bereits erreichten Umsetzungsstands

2) Abwertung aufgrund des indirekten Wirkungszusammenhangs

3) Abwertung aufgrund des langfristigen Umsetzungszeitraums

Tab. 6-1: Bewertung möglicher Maßnahmen und Handlungsfelder zur Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen

Im Ergebnis der zusammenfassenden Betrachtung sämtlicher Kriterien werden im Wesentlichen die nachfolgend erläuterten Maßnahmen mit höchster Priorität zur Umsetzung empfohlen, um kurzfristig eine nachhaltige Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen zu erreichen:

- **Realisierung der Verkehrszentrale NRW**

Die konsequente und zügige Realisierung der Verkehrszentrale NRW in der vorgesehenen Organisationsstruktur, d.h. einschließlich der hoheitlichen Zuständigkeit als Straßenverkehrsbehörde für Autobahnen, ist eine Grundvoraussetzung für die Umsetzung und Weiterentwicklung eines modernen und zukunftsfähigen Verkehrsmanagements in Nordrhein-West-

falen. Die derzeitige räumliche und organisatorische Zersplitterung der Zuständigkeiten der Verkehrszentrale stellt ein Hemmnis für die effektive Steuerung der Telematiksysteme und die landesweite Vernetzung und Koordinierung des Verkehrsmanagements dar. Die Realisierung der Verkehrszentrale NRW ist insbesondere auch eine notwendige Voraussetzung für die Umsetzung weiterer Telematikanwendungen und Maßnahmen zur optimalen Information der Verkehrsteilnehmer.

- **Optimierung des Baustellenmanagements**

Nahezu 50 % der Staus in Nordrhein-Westfalen werden durch Baustellen verursacht. Dies ist einerseits auf unvermeidbare Auswirkungen dringend notwendiger Ausbaumaßnahmen, die teilweise die am höchsten ausgelasteten Autobahnen im Ballungsraum Rhein-Ruhr betreffen, zurückzuführen, andererseits bestehen vor allem bei flexibel planbaren Maßnahmen noch erhebliche Optimierungspotenziale. Dies betrifft insbesondere die Planung von Tagesbaustellen, die einen Anteil von rund 5 % an den Staus auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen aufweisen, obwohl Staus infolge von Tagesbaustellen aufgrund der flexiblen zeitlichen Planbarkeit in den meisten Fällen vermeidbar sind. Eine detaillierte Auswertung der Planungsdaten der Tagesbaustellen des Jahres 2010 ergab, dass bei rund 50 % der Tagesbaustellen ein Stau prognostiziert wurde. Dies legt den Schluss nahe, dass sich die Planungsvorgaben für Tagesbaustellen in Nordrhein-Westfalen nicht ausreichend an dem Ziel eines staufreien Verkehrsablaufs orientieren. Angesichts des Ausmaßes der durch Baustellen verursachten Staus sind vergleichbare Defizite auch bei den Dauerbaustellen zu vermuten. Für eine Reduzierung der Staus infolge von Baustellen sind strikte, primär an verkehrlichen Kriterien orientierte Vorgaben für die Baustellenplanung (z.B. zulässige Zeitfenster, Vermeidung von Fahrstreifenreduktionen, Gewährleistung einer ausreichenden Breite des linken Fahrstreifens etc.) zu definieren und anzuwenden. Darüber hinaus sollten alle verfügbaren Möglichkeiten zur Verlagerung der Arbeiten in verkehrsarme Zeiten sowie zur Umsetzung verkehrstechnischer Detaillösungen genutzt werden. Ein effektives Controlling der Baustellenplanung durch die Straßenverkehrsbehörde ist dabei sicherzustellen. Die Bündelung der Zuständigkeit als Straßenverkehrsbehörde für Autobahnen in der Verkehrszentrale ist dafür eine wichtige Voraussetzung.

- **Nutzung der Potenziale der temporären Seitenstreifenfreigabe**

Die hohen Potenziale der temporären Seitenstreifenfreigabe zur Stauvermeidung wurden in Nordrhein-Westfalen bislang kaum ausgeschöpft. Die Maßnahme wird derzeit nur auf einem kurzen Streckenabschnitt der Autobahn A 4 bei Refrath eingesetzt. Im Rahmen der Analyse einzelner Engpässe (siehe Abschnitt 6.2) wurden mehrere Abschnitte identifiziert, auf denen – vorbehaltlich der Ergebnisse weiterer Detailuntersuchungen – die Einrichtung einer temporären Seitenstreifenfreigabe einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der Überlastungen leisten könnte.

Die Umsetzung der drei genannten Maßnahmen lässt insgesamt die höchsten Wirkungen hinsichtlich einer Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen erwarten. Weitere der in Tab. 6-1 genannten Maßnahmen mit hoher Priorität können ergänzend umgesetzt werden. Es wird geschätzt, dass durch die o.g. Maßnahmen das Ausmaß der Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen um rund ein Viertel reduziert werden kann. In Verbindung mit dem Abschluss wichtiger Ausbauvorhaben an hoch belasteten Autobahnen in den kommenden Jahren (insbesondere A 1 / A 3 Kölner Ring und A 40 Essen – Bochum) ist eine Reduktion des Ausmaßes der Staus um mehr als 50 % möglich.

6.2 Engpassbezogene Maßnahmen

Im Rahmen der Untersuchung wurden 25 gravierende Engpässe im Autobahnnetz in Nordrhein-Westfalen identifiziert. Anhand einer detaillierten Auswertung der ermittelten Stauprofile und der DTV-Werte wurde für jeden Engpass geprüft, auf welche Ursachen die aufgetretenen Staus zurückzuführen sind und inwieweit – abgesehen von Ausbaumaßnahmen – Möglichkeiten zur kurzfristigen Beseitigung der Engpässe bestehen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tab. 6-2 zusammengefasst. Dabei muss betont werden: Die angegebenen Maßnahmenvorschläge stützen sich im Wesentlichen auf die erhobenen Kennzahlen zum Ausmaß der Staus im Jahr 2010. Bei den verkehrstechnischen Analysen wurden ausschließlich die Hauptfahrbahnen betrachtet, zudem sind die vorliegenden Daten teilweise lückenhaft. Die Maßnahmenvorschläge können daher keinesfalls eine detaillierte Untersuchung unter Berücksichtigung der genauen Verkehrsstrombelastungen und der zukünftig zu erwartenden Verkehrsentwicklung ersetzen und sind lediglich als Anhaltspunkte für weitere Betrachtungen im Einzelfall anzusehen. Auch mögliche bauliche Restriktionen für die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen (insbesondere für die temporäre Seitenstreifenfreigabe) konnten nur ansatzweise geprüft werden.

Nr.	Bezeichnung	Ursachen	Mögliche Maßnahmen
1	A 3 Kölner Ring Ost	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr hohe Auslastung der A 3 und des AK Leverkusen - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch den laufenden 8-streifigen Ausbau zwischen AK Köln-Ost und AK Leverkusen - Rückstaus auf den Zulaufstrecken der A 1, A 4 und A 59 	<ul style="list-style-type: none"> - Stauvermeidungspotenzial gering, da notwendige Ausbaumaßnahme - Ggf. Detaillösungen zur Optimierung der Verkehrsführung in der Baustelle und / oder Bauzeitverkürzung
2	A 1 Kölner Ring West	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr hohe Auslastung der A 1, insbesondere in Fahrtrichtung Süd (2-streifig), und des AK Köln-West - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch den laufenden 6-streifigen Ausbau (mit Einhausung) im Bereich Köln-Lövenich 	<ul style="list-style-type: none"> - Stauvermeidungspotenzial gering, da notwendige Ausbaumaßnahme - Ggf. Detaillösungen zur Optimierung der Verkehrsführung in der Baustelle und / oder Bauzeitverkürzung
3	A 40 Essen – Bochum	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr hohe Streckenauslastung - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch den laufenden 6-streifigen Ausbau zwischen Gelsenkirchen-Süd und Bochum-Stahlhausen 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine (Ausbau wird in Kürze abgeschlossen)
4	A 3 Oberhausen – Duisburg	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Streckenauslastung - Hohe Auslastung der Fahrbeziehung Duisburg – Niederlande im AK Oberhausen - Hohe Auslastung des AK Duisburg-Kaiserberg, insbesondere auf den nur 2-streifig ausgebauten Durchgangsfahrbahnen im Zuge der A 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Streckenbeeinflussungsanlage (ist bereits geplant) - Ggf. Detaillösungen zur Beseitigung von Engstellen an Knotenpunkten - Evtl. temporäre Seitenstreifenfreigabe auf der A 3 in beiden Fahrtrichtungen, sofern die baulichen Voraussetzungen (Querschnittsbreite) geschaffen werden können

Tab. 6-2a: Ursachen der Überlastungen an den gravierenden Engpässen im Autobahnnetz und mögliche, kurzfristig realisierbare Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation

Nr.	Bezeichnung	Ursachen	Mögliche Maßnahmen
5	A 3 / A 52 Kreuz Breitscheid	- Hohe Auslastung des AK und AD Breitscheid und der angrenzenden Streckenabschnitte der A 52 und A 3, insbesondere im Zulauf auf Düsseldorf	- Evtl. temporäre Seitenstreifenfreigabe auf der A 52 zwischen AK Breitscheid und AK Düsseldorf-Nord in beiden Fahrtrichtungen - Ggf. Detaillösungen zur Beseitigung von Engstellen an Knotenpunkten
6	A 3 / A 46 Kreuz Hilden	- Hohe Auslastung des AK Hilden, der A 46 AK Hilden – AK Düsseldorf-Süd und der 2-streifigen Durchgangsfahrbahn im Zuge der A 46 am AK Düsseldorf-Süd	- Keine (Ausbau des AK Düsseldorf-Süd ist kurzfristig vorgesehen)
7	A 46 Wuppertal	- Sehr hohe Streckenauslastung - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch laufende Erneuerungsmaßnahme	- Stauvermeidungspotenzial gering, da notwendige Erneuerungsmaßnahme
8	A 1 / A 44 Kreuz Dortmund/Unna	- Sehr hohe Auslastung der A 44 AK Dortmund/Unna – AS Unna-Ost sowie des AK Dortmund/Unna	- Temporäre Seitenstreifenfreigabe auf der A 44 zwischen AK Dortmund/Unna und AS Unna-Ost in beiden Fahrtrichtungen - Ggf. Detaillösungen zur Beseitigung von Engstellen am AK Dortmund/Unna
9	A 43 Bochum – Recklinghausen	- Hohe Auslastung der A 43 sowie des AK Herne	- Streckenbeeinflussungsanlage mit temporärer Seitenstreifenfreigabe zwischen AS Bochum-Gerthe und AS Herne-Eickel, ggf. in Verbindung mit der Beseitigung von Engstellen an Knotenpunkten
10	A 57 Neuss	- Hohe Streckenauslastung - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch laufenden 6-streifigen Ausbau zwischen AK Kaarst und AD Neuss-Süd	- Keine (Ausbau wird in Kürze abgeschlossen)
11	A 59 / A 40 Kreuz Duisburg	- Hohe Auslastung des AK Duisburg und der angrenzenden Streckenabschnitte	- Evtl. Seitenstreifenumnutzung (durchgehender Verflechtungsstreifen) auf der A 40 zwischen AK Duisburg und AK Duisburg-Kaiserberg in Fahrtrichtung Ost
12	A 2 Hamm – Kamen	- Hohe Streckenauslastung - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch laufenden 6-streifigen Ausbau zwischen Hamm und Kamen	- Keine (Ausbau wird in Kürze abgeschlossen)
13	A 57 Krefeld	- Hohe Streckenauslastung, insbesondere zwischen AS Krefeld-Zentrum und AK Meerbusch	- Temporäre Seitenstreifenfreigabe zwischen AK Meerbusch und AS Krefeld-Oppum (ggf. bis AS Krefeld-Gartenstadt) in beiden Fahrtrichtungen

Tab. 6-2b: Ursachen der Überlastungen an den gravierenden Engpässen im Autobahnnetz und mögliche, kurzfristig realisierbare Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation (Forts.)

Nr.	Bezeichnung	Ursachen	Mögliche Maßnahmen
14	A 40 Duisburg-Homberg	- Sanierungsmaßnahme, Baustelle mit Fahrstreifenreduktion	- Ggf. Detaillösungen zur Optimierung der Verkehrsführung in der Baustelle und / oder Bauzeitverkürzung
15	A 59 Köln – St. Augustin-West	- Sehr hohe Streckenauslastung	- Keine (die Einrichtung einer temporären Seitenstreifenfreigabe wurde bereits geprüft und aufgrund baulicher Restriktionen verworfen)
16	A 40 Mülheim – Essen	- Hohe Streckenauslastung - Dicht aufeinander folgende Knotenpunkte	- Keine (starke Restriktionen durch dichte Knotenpunktabstände und dicht angrenzende Bebauung)
17	A 4 Kölner Ring Süd	- Hohe Auslastung der A 4 und des AK Köln-Süd	- Ggf. Detaillösungen zur Beseitigung von Engstellen am AK Köln-Süd
18	A 40 / A 52 Dreieck Essen-Ost	- Hohe Auslastung des AD Essen-Ost und des östlich angrenzenden Streckenabschnitts der A 40	- Keine (starke Restriktionen durch dichte Knotenpunktabstände und dicht angrenzende Bebauung)
19	A 57 Köln	- Hohe Streckenauslastung im Zulauf auf das Stadtzentrum Köln	- Temporäre Seitenstreifenfreigabe zwischen Köln-Longerich und Köln-Bickendorf in beiden Fahrtrichtungen (ist bereits geplant)
20	A 42 Essen – Gelsenkirchen	- Hohe Streckenauslastung	- Streckenbeeinflussungsanlage mit temporärer Seitenstreifenfreigabe zwischen AK Essen-Nord und AK Herne in beiden Fahrtrichtungen (ggf. zunächst nur Teilabschnitte)
21	A 45 Hagen – Westhofen (FR Nord)	- Hohe Streckenauslastung	- Temporäre Seitenstreifenfreigabe zwischen AK Hagen und AK Westhofen in Fahrtrichtung Nord (ist bereits geplant, Realisierungszeitpunkt ist abhängig von der Erneuerung der Lennetalbrücke)
22	A 46 Haan-Ost (FR Ost)	- Hohe Streckenauslastung stromabwärts der Fahrstreifenreduktion östl. der AS Haan-Ost	- Temporäre Seitenstreifenfreigabe zwischen AS Haan-Ost und AK Sonnborn in Fahrtrichtung Ost
23	A 4 Köln – Moitzfeld	- Hohe Streckenauslastung	- Keine
24	A 2 / A 31 Kreuz Bottrop	- Hohe Auslastung der Fahrbeziehung Emden – Oberhausen im AK Bottrop, unterdimensionierter Sortierraum auf der A 31 im Zulauf auf das AK Bottrop	- Ggf. Detaillösungen zur Optimierung der Einfädelungsvorgänge auf der A 2 in Fahrtrichtung Oberhausen oder temporäre Seitenstreifenfreigabe zwischen AK / AS Bottrop und AK Oberhausen in Fahrtrichtung West (mittelfristig evtl. auch in der Gegenrichtung)
25	A 4 / A 44 Kreuz Aachen	- Hohe Auslastung des AK Aachen - Zusätzliche Kapazitätseinbußen durch laufenden Ausbau des AK Aachen	- Ggf. Detaillösungen zur Optimierung der Verkehrsführung in der Baustelle und / oder Bauzeitverkürzung

Tab. 6-2c: Ursachen der Überlastungen an den gravierenden Engpässen im Autobahnnetz und mögliche, kurzfristig realisierbare Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssituation (Forts.)

Im Ergebnis der Analyse der einzelnen Engpässe lässt sich festhalten, dass die Überlastungen in fast allen Fällen auf eine zu hohe Auslastung von Streckenabschnitten und / oder Knotenpunkten infolge der unzureichenden Kapazität der baulichen Infrastruktur zurückzuführen sind. Für viele Engpässe ist ein Ausbau entweder vorgesehen oder befindet sich bereits in der Umsetzung. Bei laufenden Ausbaumaßnahmen führen die Kapazitätseinbußen aufgrund der Baustelle zu einer weiteren Zunahme der Staus. An diesen Engpässen könnte allenfalls durch Detaillösungen zur Optimierung der Verkehrsführung oder Maßnahmen zur Bauzeitverkürzung – sofern nicht bereits umgesetzt – das Ausmaß der Überlastungen verringert werden, eine spürbare Verbesserung der Stausituation ist jedoch erst durch den Abschluss der Ausbaumaßnahmen zu erwarten. Für solche Engpässe, bei denen die auftretenden Überlastungen in erster Linie auf die unzureichende Streckenkapazität zurückzuführen sind und ein Ausbau kurzfristig nicht zu erwarten ist, könnte durch die Einrichtung einer temporären Seitenstreifenfreigabe – nach Möglichkeit in Kombination mit einer Streckenbeeinflussungsanlage – unter Umständen eine deutliche Verbesserung der Verkehrssituation erreicht werden. Maßgebend für die Realisierung sind dabei die baulichen Voraussetzungen hinsichtlich der verfügbaren Fahrbahnbreite und der Tragfähigkeit des Seitenstreifens. Darüber hinaus sind in jedem Einzelfall die möglichen Wechselwirkungen zwischen Kapazitätsdefiziten von Streckenabschnitten und Knotenpunkten zu prüfen.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie wurden das Ausmaß und die Ursachen von Staus auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen umfassend empirisch analysiert, um darauf aufbauend Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Stausituation ableiten zu können. Ausgangspunkt der Untersuchung war eine Analyse nationaler und internationaler Literaturquellen zur Definition, Entstehung und Beschreibung von Staus auf Autobahnen sowie zur Bewertung der Auswirkungen von Staus anhand verkehrstechnischer und volkswirtschaftlicher Parameter. Für die Quantifizierung von Staus wurden bislang zahlreiche Ansätze entwickelt und angewandt, die sich hinsichtlich der zugrunde liegenden Datenquellen, der verwendeten Kenngrößen sowie der getroffenen Annahmen teilweise erheblich voneinander unterscheiden. Eine Einschätzung der volkswirtschaftlichen Kosten von Verkehrsstaus wurde in mehreren Untersuchungen durchgeführt, die jedoch aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden und z.T. sehr pauschaler Annahmen nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie vergleichbar sind.

Für die empirische Analyse des Staugeschehens auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen wurden umfangreiche Verkehrsdaten von Dauerzählstellen ausgewertet. Anhand dieser Daten wurden für alle Abschnitte des Autobahnnetzes, die über eine automatische Verkehrserfassung verfügen, die Häufigkeit von Staus sowie die durch Staus verursachten Zeitverluste ermittelt. Durch die Verknüpfung der Verkehrsdaten mit Baustellen- und Unfalldaten wurden die maßgebenden Ursachen der Staus identifiziert. Zur Plausibilisierung der Ergebnisse wurden darüber hinaus Verkehrsmeldungen der Landesmeldestelle einbezogen.

Zur Quantifizierung der Staus wurden die räumlich-zeitliche Stauausdehnung (Produkt der Staulänge in km und der Staudauer in h) sowie die durch Staus verursachten Zeitverluste und Zeitkosten ermittelt. Den durchgeführten Untersuchungen lagen Daten für das gesamte Jahr 2010 zugrunde. Anhand der verfügbaren Daten konnte das Staugeschehen auf rund 75 % der Länge des Autobahnnetzes ermittelt werden. Die Summen der Stauausdehnung und der staubedingten Zeitverluste wurden näherungsweise proportional auf das Gesamtnetz der Autobahnen hochgerechnet. Die ermittelten Kenngrößen beziehen sich ausschließlich auf das Verkehrsgeschehen auf den Autobahnen selbst, d.h. Zeitverluste durch das Ausweichen in das nachgeordnete Netz wurden nicht berücksichtigt.

Die ermittelte Stauausdehnung beträgt insgesamt rund 400.000 h·km. Dies bedeutet, dass der Verkehr auf jedem Kilometer Richtungsfahrbahn der nordrhein-westfälischen Autobahnen rein rechnerisch in durchschnittlich etwa 90 Stunden pro Jahr gestaut ist. Dabei ist das Ausmaß der Staus allerdings sehr ungleich über das Netz verteilt. An hoch belasteten Engpässen, z.B. im Bereich des Kölner Rings oder im Zuge der Autobahn A 40, wurden Staudauern von teilweise über 1.000 Stunden pro Jahr ermittelt. Die staubedingten Zeitverluste belaufen sich auf rund 14 Mio. Fz · h für die Pkw sowie 2,5 Mio. Fz · h für die Lkw. Die Differenzierung nach Stauursachen ergab, dass jeweils knapp die Hälfte der staubedingten Zeitkosten in Nordrhein-Westfalen auf Baustellen bzw. hohes Verkehrsaufkommen zurückzuführen sind, während der Anteil der schweren Unfälle (Unfallkategorien 1-4) nur etwa 7 % beträgt.

Neben den Zeitverlusten aufgrund der tatsächlich eingetretenen Staus ist zusätzlich der Einfluss von Staus auf die Zuverlässigkeit des Verkehrsablaufs zu berücksichtigen, der dadurch entsteht, dass die Verkehrsteilnehmer einen gewissen Zeitpuffer einplanen müssen, wenn sie ihr Ziel auch im Fall eines Staus pünktlich erreichen wollen. Die aus der Pufferzeit resultierenden Zeitverluste lassen sich nur näherungsweise und unter pauschalen Annahmen schätzen. Eine überschlägige Ermittlung ergab, dass diese indirekten Zeitverluste in einer ähnlichen Größenordnung liegen können wie die direkten staubedingten Zeitverluste.

Anhand der Auswertung der räumlichen Verteilung der Staus wurden insgesamt 25 Engpässe im Autobahnnetz identifiziert, an denen Staudauern von mindestens 100 Stunden pro Jahr gemessen wurden. Für jeden Engpass wurden die Ursachen der auftretenden Überlastungen analysiert und – soweit möglich – kurzfristig umsetzbare Maßnahmen für eine Verbesserung der Verkehrssituation vorgeschlagen. An den fünf größten Engpässen, die in der Summe fast ein Drittel der Staus auf allen betrachteten Netzabschnitten verursachen, ergibt sich das gravierende Ausmaß der Staus durch eine sehr hohe Streckenauslastung in Verbindung mit zusätzlichen Kapazitätseinbußen aufgrund laufender Ausbau- oder Erneuerungsmaßnahmen. An diesen Engpässen ist eine spürbare Verbesserung der Stausituation durch den Abschluss der Baumaßnahmen zu erwarten. Für Engpässe im Zuge von Streckenabschnitten, bei denen ein Ausbau noch nicht absehbar ist, eignet sich insbesondere die temporäre Seitenstreifenfreigabe als kurzfristig realisierbare Maßnahme zur Verbesserung der Stausituation. Dabei wird mit Hilfe von Wechselverkehrszeichen der Seitenstreifen bei hoher Verkehrsnachfrage als zusätzlicher Fahrstreifen freigegeben, während der Seitenstreifen außerhalb der Verkehrsspitzen als Sicherheitsraum für liegen gebliebene Fahrzeuge und den Betriebsdienst erhalten bleibt. Die Realisierbarkeit einer temporären Seitenstreifenfreigabe ist jedoch u.a. von den jeweiligen verkehrlichen und baulichen Randbedingungen (Kapazität der angrenzenden Knotenpunkte, verfügbare Fahrbahnbreite, Tragfähigkeit des Seitenstreifens) abhängig und bedarf einer detaillierten Überprüfung im Einzelfall.

Aufbauend auf den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen wurden allgemeine Handlungsfelder und Maßnahmen zur kurzfristigen Verbesserung der Stausituation in Nordrhein-Westfalen identifiziert und unter Einbeziehung vorliegender Forschungsergebnisse und Erfahrungen bewertet. Die Maßnahmen gliedern sich in die Bereiche:

- Telematikeinrichtungen,
- straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen,
- Baustellenmanagement,
- Störungsmanagement,
- Mobilitätsmanagement,
- Verkehrsinformation und Navigation,
- neue Technologien.

Die Bewertung der Maßnahmen erfolgte anhand ihrer Wirksamkeit zur Vermeidung von Staus auf Autobahnen, ihrer Effizienz bzgl. Kosten und Dauer der Umsetzung, der Möglichkeit zur Umsetzbarkeit der Maßnahmen in eigener Zuständigkeit des Landes sowie des erreichbaren Beitrags zur Verbesserung der Stausituation in Nordrhein-Westfalen ausgehend vom derzeitigen Umsetzungsstand. Anhand der Bewertung der Einzelkriterien erfolgte eine Einschätzung der Priorität der einzelnen Maßnahmen. Im Ergebnis der Bewertung werden drei Maßnahmen mit höchster Priorität zur Umsetzung empfohlen, um kurzfristig eine nachhaltige Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen zu erreichen:

- Realisierung der Verkehrszentrale NRW,
- Optimierung des Baustellenmanagements,
- Nutzung der Potenziale der temporären Seitenstreifenfreigabe.

Die Umsetzung der drei genannten Maßnahmen lässt insgesamt die höchsten Wirkungen hinsichtlich einer Verbesserung der Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen erwarten.

Mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen liegen umfassende empirische Erkenntnisse zum Ausmaß und den wesentlichen Ursachen der Staus auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen vor. Aufgrund der Zeitrestriktionen der Untersuchung wurden im Wesentlichen Auswertungen durchgeführt, die mit Hilfe von Computerprogrammen automatisiert werden konnten. Abgesehen von grundlegenden Plausibilitätsprüfungen konnten jedoch keine weitergehenden manuellen Datenanalysen durchgeführt werden. Darüber hinaus mussten teilweise Näherungslösungen in Kauf genommen werden. Dennoch ist – nicht zuletzt aufgrund des Umfangs der in die Auswertungen einbezogenen Daten – davon auszugehen, dass die ermittelten Ergebnisse in ihrer Größenordnung das tatsächliche Ausmaß und die Ursachen der Staus auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen realistisch und in einer bislang noch nicht ermittelten Detailschärfe wiedergeben und somit eine belastbare Grundlage für weitergehende Untersuchungen darstellen.

Literatur

ADAC (2008):

Bedarfsgerechter Autobahnausbau. ADAC e.V., Ressort Verkehr, Artikelnummer: 2830460, München.

Arnold, M. (2001):

Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 820. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Bonn.

Bange, C. (2007):

Wie viel ist Ihnen eine Stunde Stau wert? Staukosten im Straßenverkehr. Bericht im Wuppertaler Bulletin, Jg. 10, Nr. 1.

Banks, J.H. (1991):

The Two-Capacity Phenomenon: Some Theoretical Issues. Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, Washington D.C.

Baum, H.; Esser, K., Höhnscheid, K.-J. (1998):

Volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen des Verkehrs. Forschungsarbeiten aus dem Straßen- und Verkehrswesen, Heft 108. Kirschbauverlag, Köln.

Baum, H.; Peter, H., Rupke, B.; Schneider, J.; Schott, V.; Schulz, W.H.; Suthold, R.; Krempin, M. (2002):

Kapazitätssituation der Verkehrsinfrastruktur in Deutschland, Studie für das FOCUS Magazine. Köln.

ITP, BVU (2007):

Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025 (Verkehrsprognose 2025). Kurzfassung von FE-Nr. 96.0857/2005 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, München / Freiburg.

BMVBS (2010):

Ergebnisse der Überprüfung der Bedarfspläne für die Bundesschienenwege und die Bundesfernstraßen. Kurzfassung, korrigierte Version vom 11. November 2010. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

BMVBS (2011a):

Projektplan Straßenverkehrstelematik 2015. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

BMVBS (2011b):

Lkw-Maut auf vierspurigen Bundesstraßen im Bundestag beschlossen. Pressemitteilung Nr. 069/2011 vom 15.04.2011. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

Bogenberger, K. (2003):

Qualität von Verkehrsinformationen. Straßenverkehrstechnik, Heft 10/2003. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Bovy, P. (2001):

Traffic flooding the low countries: How the Dutch cope with motorway congestion. Transport Reviews, Vol. 21, No. 1, pp. 89-116, 2001.

Bovy, P.; Salomon, C. (1998):

Introductory Report on Traffic Congestion in Europe. In: ECMT (1999).

Breitenberger, S.; Grüber, B.; Neuherz, M. (2004):

Extended Floating Car Data – Potenziale für die Verkehrsinformation und notwendige Durchdringungsraten. In Straßenverkehrstechnik, Heft 10/2004. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Brilon, W. (2000):

Traffic Flow Analysis Beyond Traditional Methods. Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity, pp. 26-41, Transportation Research Board. Washington D.C.

Brilon, W.; Drews, O. (1996):

Verkehrliche Auswirkungen der Anordnung von Überholverbots für Lkw auf Autobahnen. Schlussbericht zu FE Nr. 03.261 R92K im Auftrag des BMV.

Brilon, W.; Estel, A. (2008):

Differenzierte Bewertung der Qualitätsstufen im HBS im Bereich der Überlastung. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 999, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Bonn.

Brilon, W.; Geistefeldt, J. (2010):

Überprüfung der Bemessungswerte des HBS für Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1033, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Bonn.

Brilon, W.; Geistefeldt, J.; Regler, M. (2005):

Reliability of Freeway Traffic Flow: A stochastic Concept of Capacity. Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, College Park, Maryland.

Brilon, W.; Geistefeldt, J.; Zurlinden, H. (2007):

Implementing the concept of reliability for highway capacity analysis. Transportation Research Record – Journal of the Transportation Research Board, No. 2027, Washington D.C.

Brilon, W.; Harding, J. (2007):

Simulationsstudie zur verkehrstechnischen Bewertung eines Lkw-Überholverbots auf zweistreifigen BAB-Richtungsfahrbahnen. Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Lehrstuhl für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum.

Daganzo, C.F (1994).

The cell-transmission model. A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. Transportation Research, Vol. 28B, pp. 269-288.

DESTATIS (2011):

Verkehrsunfälle. Statistisches Bundesamt Deutschland, Internetpräsenz: www.destatis.de.

ECMT (1999):

Traffic Congestion in Europe – Report of the 110th Round Table on Transport Economics. European Conference of Ministers of Transport.

EWS (1997):

Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – Aktualisierung der RAS-W 86. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln.

FGSV (2000):

Begriffsbestimmungen – Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln.

FGSV (2002):

Verkehrsmanagement – Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen. FGSV-Arbeitspapier Nr. 56, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln.

FGSV (2007):

Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Heft 311, Köln.

Geistefeldt, J. (2009):

Überprüfung der verkehrstechnischen Bemessungswerte des HBS für Autobahnen. Straßenverkehrstechnik, Heft 10/2009. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Geistefeldt, J.; Glatz, M. (2010):

Temporäre Seitenstreifenfreigabe – Das Beispiel Hessen in Deutschland. Straße und Verkehr, Heft 12/2010.

Gerike, R.; Seidel, T.; Becker, U.J.; Richter, F.; Schmidt, W. (2006):

Auswirkungen einer Internalisierung externer Kosten des Verkehrs in Sachsen. Abschlussbericht, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.

Gerondeau, C. (1998):

Introductory Report on Traffic Congestion in Europe. In: ECMT (1999).

Hall, F.L.; Agyemang-Duah, K. (1991):

Freeway Capacity Drop and the Definition of Capacity. Transportation Research Record – Journal of the Transportation Research Board, No. 1320, Washington D.C.

HBS (2001):

Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) 2001. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.

HCM (2000):

Highway Capacity Manual (HCM). Transportation Research Board, Washington D.C., 2000.

HLSV (2010a):

Staubilanz Hessen. Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.). Internetpräsenz: www.staufreieshessen2015.de.

HLSV (2010b):

Handbuch zum Baustellenmanagement. Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.).

Hobst, E. (2000):

Qualität von Verkehrsinformationssystemen. Diplomarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart

IFEU (2010):

Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMOT, Version 5). Schlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes FKZ 3707 45 101, Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg.

INFRAS: Schreyer, C.; Schneider, C.; Maibach, M.; Rothegetter, W.; Doll, C.; Schmedding, D. (2004):

External Costs of Transport, Update Study. Studie von INFRAS und IWW, Zürich/Karlsruhe.

INRIX (2011):

INRIX National Traffic Scorecard, Germany – 2010 Edition. INRIX Europe GmbH, Krefeld.

IT.NRW (2011):

Amtliche Bevölkerungszahlen. Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW), Internetpräsenz: www.it.nrw.de.

KBA (2011):

Gesamtverkehr – Deutschland und seine Länder in den Jahren 2008 und 2007. Anzahl der Fahrten deutscher und ausländischer Lastkraftfahrzeuge in den Jahren 2008 und 2007 nach Gebiet des Fahrtantritts. Kraftfahrt-Bundesamt, Internetpräsenz: www.kba.de.

Kellermann, G. (2002):

Erkenntnisse zum Lkw-Überholverbot auf Autobahnen. Straßenverkehrstechnik, Heft 4/2002. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Kemming, H. (2007):

Weiterentwicklung von Produkten, Prozessen und Rahmenbedingungen des betrieblichen Mobilitätsmanagements durch eine stärkere Systematisierung, Differenzierung und Standardisierung. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Dortmund

Kim, Y.; Keller, H. (2001):

Zur Dynamik zwischen Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm. Straßenverkehrstechnik, Heft 9/2001. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Kloas, J.; Voigt, U. (2007):

Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen. Artikel im Wochenbericht des DIW Berlin Nr. 9/2007, Berlin.

Krampe, S. (2007):

Nutzung von Floating Traveller Data (FTD) für mobile Lotsendienste im Verkehr. Dissertation, TU Darmstadt.

Kreuzberg, B.; Kirschfink, H. (2009):

Machbarkeitsstudie Verkehrszentrale NRW. Bericht im Auftrag des Landesbetriebes Straßenbau.NRW, Ramboll Management GmbH, momatec GmbH, Berlin / Aachen.

Lemke, K.; Moritz, K. (2002):

Freigabe von Seitenstreifen an Bundesautobahnen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 94, Bergisch Gladbach.

Lemke, K. (2007):

Standstreifenfreigabe - Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 153, Bergisch Gladbach.

Lighthill, M.J.; Witham, G.B. (1955):

On Kinematic Waves: A Theory of Traffic in long, crowded Roads. Proc. Roy. Soc. of London 229, pp. 317-345.

Litman, T. (2003):

Transportation Cost Analysis: Techniques, Estimates and Implications. Victoria Transport Policy Institute, Victoria.

Lomax, T.; Turner, T.; Margiotta, R. (2004):

Monitoring Urban Roadways in 2002: Using Archived Operations Data for Reliability and Mobility Measurement. Texas Transportation Institute, College Station.

May, A.D. (1998):

Performance Measures and Level of Service Beyond the HCM 2000. Proceedings of the 3rd International Symposium on Highway Capacity, Vol. 2, pp. 729-754, Road Directorate, Copenhagen.

Maertins, C. (2006):

Die Intermodalen Dienste der Bahn: Mehr Mobilität und weniger Verkehr? - Wirkungen und Potenziale neuer Verkehrsdiestleistungen. Discussion Paper SP III 2006-101, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin.

MARZ (1999):

Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ). Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Bergisch Gladbach.

Minderhoud, M.M.; Botma, H.; Bovy, P.H.L. (1997):

Assessment of Roadway Capacity Estimation Methods. Transportation Research Record – Journal of the Transportation Research Board, No. 1572, Washington D.C.

Müller, G. (2001):

Betriebliches Mobilitätsmanagement – Status Quo einer Innovation in Deutschland und Europa. Veröffentlichung des Referates für Arbeit und Wirtschaft, November 2001, München.

Müller, G.; Stiewe, M. (2005):

Rahmenbedingungen für das betriebliche Mobilitätsmanagement – Ergebnisse einer Expertenbefragung. ILS NRW, Dortmund.

MWEBWV NRW (2010):

Mobilität in Nordrhein-Westfalen, Daten und Fakten 2010. Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

Nagel, K.; Schreckenberg, M. (1992):

A cellular automaton model for freeway traffic, J. Phys. I France 2 2221–2229.

Pischner, T.; Hangleiter, S.; Lambacher, U.; Trupat, S.; Kühne, R.; Schick, P. (2003):

Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 866, Bonn.

PLANCO (2000):

Numerische Aktualisierung interner und externer Beförderungskosten für die Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) auf dem Preisstand des Jahres 1998 – Schlussbericht zu FE-Nr. 96.602/1999 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, PLANCO Consulting GmbH, Essen.

Ponzlet, M. (1996):

Dynamik der Leistungsfähigkeiten von Autobahnen – Auswirkungen von systematischen und umfeld-bedingten Schwankungen des Geschwindigkeitsverhaltens und deren Beschreibung in

Verkehrsflussmodellen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 16.

Regler, M. (2004):

Verkehrsablauf und Kapazität auf Autobahnen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 28.

Richards, P.I. (1956):

Shock waves on the highway. Operations Research, 4 (1), 42-51.

Riegelhuth, G.; Kirschfink, H.; Dölger, R.; Stüben, G.; Bohlander, F. (2010):

Technische Grundlagen und Anwendungserfahrungen beim Korridormanagement mit dem Intermodalen/Interregionalen Strategie-Manager. Straßenverkehrstechnik, Heft 8/2010. Kirschbaum Verlag, Bonn.

RUHRPILOT (2006):

Pressemitteilung vom 13.01.2006.

Schallaböck, K.O.; Petersen, R. (1998):

Introductory Report on Traffic Congestion in Europe. In: ECMT, 1999.

Schick, P. (2003):

Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses. Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Heft 35, Stuttgart.

Schlaich, J. (2009):

Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl. Dissertation. Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen.

Schränk, D.; Lomax, T. (2003):

The 2003 Annual Urban Mobility Report. Texas Transportation Institute, College Station, Texas.

Shaw, T. (2003):

Performance Measures of Operational Effectiveness for Highway Segments and Systems. NCHRP Synthesis 311, Transportation Research Board, Washington D.C.

Siegener, W.; Träger, K.; Martin, K.; Beck, T. (2000):

Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 787, Bonn.

Sparmann, J. (2005):

Verkehrsmanagement mit Unterstützung der Telematik in Fahrzeugen. In: Von den Anfängen bis zur Gegenwart – Verkehrstechnik an der Universität Kassel. Institut für Verkehrswesen (Hrsg.), Kassel University Press.

Steinauer, B.; Volkenhoff, T.; Kemper, D. (2010):

Pilotheit Verbesserung der Verkehrssicherheit einer Baustelle mittels moderner Systeme zur Verkehrserfassung zur Stauvermeidung im Zuge der A 1. Schlussbericht zu FE-Nr. 86.0063/2008. Institut für Straßenwesen Aachen, RWTH Aachen.

Stembord, H.L. (1991):

Quality of Service on the Main Road Network in the Netherlands. In: Brannolte, U. (Ed.): Highway Capacity and Level of Service. Rotterdam, Balkema.

Stöcker, K.; Trupat, S. (2001):

Der Einfluss einer Zuflussregelung an Anschlussstellen auf die Verbesserung des Verkehrsflusses auf Autobahnen. Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 802, Bonn.

Straßen.NRW (2011a):

Telematik im Straßenverkehr. Internetpräsenz: http://www.strassen.nrw.de/betrieb_verkehr/verkehr/telematik.html.

Straßen.NRW (2011b):

Ein Drittel der Tagesbaustellen findet nachts statt. Presseinformation vom 18.03.2011, Straßen.NRW, Gelsenkirchen.

STVO (2009):

Straßenverkehrs-Ordnung. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

Sumpf, J.; Frank, D. (1997):

Abschätzung der volkswirtschaftlichen Verluste durch Stau im Straßenverkehr. Unveröffentl. Manuskript, München.

Treiber, M.; Kesting, A. (2010):

Verkehrsdynamik und -simulation. Springer-Verlag, Berlin.

UDV (2011):

Notbremsassistent. Unfallforschung der Versicherer (UDV). Online verfügbar unter: <http://www.udv.de/fahrzeugsicherheit/lkw/fas/notbremsassistent/>

UNITE (2002):

Unification of Accounts and marginal costs for Transport Efficiency. Deliverable 5, annex 2, The Pilot Accounts for Germany.

Volkenhoff, T.; Querdel, C.; Steinauer, B. (2010):

Das modifizierte Reißverschlussverfahren. Straßenverkehrstechnik, Heft 5/2010. Kirschbaum Verlag, Bonn.

Zumkeller, D.; Manz, W.; Last, J.; Chlond, B. (2005):

Die intermodale Vernetzung von Personenverkehrsmitteln unter Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse (INVERMO). Programm „Mobilität und Verkehr besser verstehen“. Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe.

Anhang: Kartendarstellung der abschnittsbezogenen Staudauern

