

Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe

FA 1.155

Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. Heinz Zackor Ingenieurberatung, Kassel

Bearbeiter: Listl, G. / Otto, J. / Zackor, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Oktober 2004

1 Aufgabenstellung

Staus auf Autobahnen lassen sich ihrer Ursache nach in Wesentlichen in folgende Kategorien einteilen:

- Staus aufgrund von dauerhaften infrastrukturbedingten Kapazitätsengpässen,
- Staus aufgrund von temporären Kapazitätseinschränkungen durch Arbeitsstellen und
- Staus aufgrund von temporären Kapazitätseinschränkungen durch Unfälle und Nothalte.

Störungen im Netz werden im Rahmen des öffentlichen Verkehrswarndienstes und privater Verkehrsinformationsdienste beobachtet und ausgewertet. Hier existieren vielversprechende Ansätze hinsichtlich der Ableitung von Zeitverlusten auf der Grundlage von Daten aus verschiedenen Erfassungssystemen. Es ist allerdings (auch zukünftig) nicht zu erwarten, dass auf Basis dieser Systeme eine nach Störungsursachen differenzierte Analyse vorgenommen werden kann.

Reisezeitverluste an Arbeitsstellen kürzerer und längerer Dauer für die Bezugsjahre 1998 und 2000 wurden in einem FA-Vorhaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) "Quantifizierung staubedingter Reisezeitverluste auf Autobahnen – Störungsursache: Arbeitsstellen" (Ober-Sundermeier; Otto) ermittelt.

Ziel des vorliegenden FA-Vorhabens war die Quantifizierung von staubedingten Reisezeitverlusten im Jahr 2000, die auf infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe zurückzuführen sind. Weiterhin sollten auch die Verlustzeiten aufgrund von Verkehrsunfällen und Pannen abgeschätzt werden. Zusammen mit den Ergebnissen der "Quantifizierung staubedingter Reisezeitverluste auf Autobahnen – Störungsursache: Arbeitsstellen" kann somit Aufschluss darüber gegeben werden, wie sich die Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen anteilmäßig und in ihrer Größenordnung auf die oben genannten Störungsursachen aufteilen.

2 Untersuchungsmethodik

Abhängig von den baulichen Randbedingungen (Fahrstreifenanzahl, Gradienten), den Umfeldbedingungen, dem Schwerverkehrsanteil und der Zusammensetzung des Fahrerkollektivs reduziert ein Engpass die Kapazität des betroffenen Autobahnabschnitts. Übersteigt die Verkehrsnachfrage die Kapazität, entsteht vor dem Engpass ein Stau. Voraussetzung für eine sinnvolle Staumodellierung und Quantifizierung von Reisezeitverlusten ist die Kenntnis der tatsächlichen Verkehrsabläufe mit folgenden Modellierungsaufgaben:

- (1) Aufbau eines Autobahnnetzmodells einschließlich Datenversorgung,
- (2) Modellierung der Verkehrsnachfrage,
- (3) Modellierung der Kapazität sowie

- (4) Staumodellierung und Ermittlung der Reisezeitverluste mithilfe der Simulation.

2.1 Aufbau eines Autobahnnetzmodells einschließlich Datenversorgung

Das Bundesautobahnnetz wird in einem Netzmodell soweit von der Realität abstrahiert, dass die für die Berechnungsmodelle wesentlichen Merkmale in möglichst handhabbarer Form bestehen bleiben. Hierzu erfolgt eine Unterteilung des Netzes in Abschnitte mit annähernd konstanten Fahrbahn- und Verkehrsbedingungen. Grundlegende Abgrenzungskriterien sind Verkehrsnachfragesprünge (Autobahnknoten) und Änderungen der Fahrstreifenanzahl.

Notwendige Voraussetzung für eine optimale Versorgung des Simulationsprogramms ist die Schaffung einer einheitlichen Datenbasis aus den verschiedenen zur Verfügung stehenden Primärdatenquellen.

Hierzu werden Informationen aus den Datenquellen

- Autobahnverzeichnis – AVERZ,
- Bundesinformationssystem Straße – BISStra,
- Zustandserfassung des BAB-Netzes,
- Netzmodell für die Bundesfernstraßenplanung – NEMOBFStr,
- Straßenverkehrszählung – SVZ und
- Auswertung der automatischen Dauerzählstellen auf Bundesfernstraßen – DZSt

zusammengeführt und in einer streckenbezogenen BAB-Datenbank zusammengefasst.

Die BAB-Datenbank enthält über die zur Verlustzeitberechnung notwendigen Daten hinaus weitere Informationen und ist so aufgebaut, dass sie als Basis-Informationssystem auch für andere Problemstellungen geeignet ist.

2.2 Modellierung der Verkehrsnachfrage

Die Modellierung der Verkehrsnachfrage wird in einer ersten Stufe durch Disaggregation der aus der Straßenverkehrszählung verfügbaren abschnittsbezogenen DTV-Werte mittels kollektiver typisierter Ganglinien zu stündlichen Verkehrsnachfragemerten vorgenommen. Zur Berücksichtigung stochastischer Schwankungen wird die Verkehrsnachfrage in einer zweiten Disaggregierungsstufe mit einer Normalverteilung (Variationskoeffizient $V=5\%$) um den mittleren stündlichen Erwartungswert gestreut. Zur Abbildung der Verkehrsnachfrage im Feiertags- und Urlaubsverkehr werden auf der Basis der Ganglinientypen aus dem Normalzeitbereich separate Ganglinientypen abgeleitet. Der Modellierung liegt ein Ansatz zur Verlagerung der Verkehrsnachfrage bei Überlastung zugrunde. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass sowohl durch Gewöhnungseffekte als auch durch Verkehrsinformation und -steuerung Teile der Verkehrsströme räumlich oder zeitlich verlagert werden.

2.3 Modellierung der Kapazität

Die Modellierung der Kapazität eines Streckenabschnitts erfolgt auf dem Basiswert einer fahrstreifenbezogenen Grundkapazität. Zur Berücksichtigung folgender kapazitätsbeeinflussender Bedingungen werden Anpassungsfaktoren angesetzt: Capacity-Drop, Fahrstreifenreduktion, Schwerverkehr und Längsneigung,

raumstrukturelle Lage im Netz, Niederschlagsereignisse, Unfälle, Nothalte, Tempolimit, Streckenbeeinflussung und Einfädungsbereiche von Knoten. Unfälle und Nothalte sowie Niederschlag werden als stochastische Ereignisse berücksichtigt.

2.4 Staumodellierung und Ermittlung der Reisezeitverluste

Die Modellierung der Stauentwicklung basiert auf einem makroskopischen Ansatz nach der Stoßwellentheorie von Lighthill und Whitham. Die Geschwindigkeit dieser Stoßwelle charakterisiert die Bewegung der stromaufwärtigen Staufront, d. h. des Stauendes. Bei dauerhaften Kapazitätsengpässen wird von einer festen Stauwurzel ausgegangen. Bei temporären Kapazitätsengpässen (Fahrstreifenreduktionen durch Unfälle und Nothalte) wandert die Stauwurzel nach Wiederherstellung der vollen Kapazität als zweite Dichtestoßwelle stromaufwärts. Die sich aus dem Stau ergebenden Zeitverluste errechnen sich als Differenz aus der Fahrzeit durch den Stau und der Fahrzeit bei ungestörten Verkehrsverhältnissen. Bezüglich der Referenzgeschwindigkeit werden zwei Fälle unterschieden: Aus Sicht der Straßennutzer wird die Richtgeschwindigkeit von 130 km/h bzw. ein vorhandenes Tempolimit, aus Sicht des Systembetreibers wird eine Geschwindigkeit von 80 km/h als Referenzgeschwindigkeit für Pkw angesetzt. Für Lkw beträgt die Referenzgeschwindigkeit generell 80 km/h.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Reisezeitverluste durch infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe und Unfälle

Bei Zugrundelegung einer nutzerorientierten Referenzgeschwindigkeit von 130 km/h ergeben sich Reisezeitverluste für alle Fahrzeugarten und Fahrtzwecke in Höhe von 144,4 Mio. Stunden. Geht man bei der Berechnung der Reisezeitverluste von einer betreiberorientierten Referenzgeschwindigkeit von 80 km/h aus, beträgt der Wert 133,3 Mio. Stunden. Die relativ geringe Differenz von 11,1 Mio. Stunden ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Streckenabschnitte mit hohen Zeitverlusten in Ballungsräumen bereits mit Tempolimits belegt sind und diese als Referenzgeschwindigkeit angesetzt werden.

Der Anteil der unfall- und nothaltbedingten Reisezeitverluste an den Gesamtreisezeitverlusten liegt bei beiden diskutierten Referenzgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 50 bis 55 Mio. Stunden. Eine exakte Angabe ist wegen des Zufallseinflusses in der Unfallmodellierung nicht möglich.

3.2 Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen

In Sensitivitätsanalysen wurde die Stabilität der Berechnungsergebnisse hinsichtlich der Veränderung einzelner Eingangsdaten bestimmt.

Wesentliche Erkenntnis der Sensitivitätsanalyse ist, dass die Modellierung der Verlagerung der Verkehrsnachfrage bei vorhandener Überlastung einen herausragenden Einfluss auf die Ergebnisse hat. Ohne Berücksichtigung dieser Verlagerung liegen die ermittelten Reisezeitverluste um ein Vielfaches höher als mit Berücksichtigung dieses Effekts. Eine Analyse der Einzeldaten zeigt, dass ohne Ansatz einer Verlagerung an einem Großteil der Streckenabschnitte unplausible Staulängen und damit auch unplausible Verlustzeiten ermittelt werden.

Von einer merklichen Verkehrsverlagerung bei sonst erheblichen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf muss insbesondere vor dem Hintergrund der verfügbaren Verkehrsinformation und der Verkehrssteuerung ausgegangen werden. Da zum Ausmaß der Verlagerung bislang keine Untersuchungen vorliegen, ist

die Modellierung an dieser Stelle mit großen Unsicherheiten behaftet.

Die von Ober-Sundermeier und Otto im Rahmen der Quantifizierung von staubedingten Reisezeitverlusten an Arbeitsstellen festgestellten Zusammenhänge sind im Hinblick auf die starken Differenzen zwischen den Ergebnissen mit und ohne Verlagerung grundsätzlich auch auf die infrastrukturbedingten Engpässe übertragbar und folgendermaßen zu bewerten: Die Reisezeitverluste, die unter Berücksichtigung einer Verlagerungsfunktion ermittelt wurden, beziehen sich auf die realen Verkehrszustände der betroffenen Autobahnabschnitte. Reisezeitverluste, die durch eine Verlagerung von Verkehrsströmen insbesondere ins nachgeordnete Netz entstehen, bleiben hier unberücksichtigt. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass Alternativrouten aufgrund einer angestrebten Fahrzeitoptimierung gewählt werden, sodass durch die Verlagerung von Fahrten geringere Reisezeitverluste entstehen als ohne eine Verlagerung (Fahrt durch den Stau). Somit können die Reisezeitverluste, die ohne Ansatz einer Verlagerung ermittelt wurden, als "theoretische" (und in der Realität nicht erreichte) Obergrenze aufgefasst werden.

Auf der Angebotsseite sind insbesondere folgende Faktoren anzuführen, auf deren Veränderung die Ergebnisse sensibel reagieren:

- Zuweisung eines raumstrukturellen Lagekriteriums (Ballungsraum ja/nein)
- Modellierung hoch belasteter Autobahnknoten

3.3 Staubedingte Gesamtzeitverluste im Autobahnnetz

In einer Gesamtbetrachtung der Reisezeitverluste ergibt sich bei einer nutzerorientierten Betrachtung und nach Ursachen differenziert die in Bild 1 dargestellte Verteilung.

Um die genannten Summen der Reisezeitverluste weniger abstrakt erscheinen zu lassen und damit einen Eindruck vom Ausmaß der Reisezeitverluste zu erhalten, lassen sich zum Vergleich die Gesamtfahrleistungen und -fahrzeiten bei störungsfreiem Verkehrsablauf im deutschen Autobahnnetz heranziehen.

4 Folgerungen für die Praxis

Für das Bezugsjahr 2000 wurde auf Grundlage der für die Untersuchung vorliegenden Datenquellen die Gesamtfahrleistung auf Autobahnen mit 201,5 Mrd. Fz-km abgeschätzt. Bei einer Aufsummierung der nach Geschwindigkeitsbeschränkungen für Lkw und Pkw sowie der Richtgeschwindigkeit für Pkw differenzierten Fahrleistungsanteile ergibt sich eine Gesamtfahrzeit in Höhe von 1,74 Mrd. Stunden pro Jahr ohne Verluste durch Stau (Pkw: 1,36 Mrd. h; Lkw: 0,38 Mrd. h). Sieht man die staubedingten Verlustzeiten in Höhe von 234 Mio. Stunden in Relation zu den bei ungestörtem Verkehrsablauf abgewickelten Fahrzeiten, kann ein staubedingter mittlerer Reisezeitzuschlag von 13 bis 14 Prozent angesetzt werden.

Bezogen auf die mittlere Pkw-Geschwindigkeit bedeutet dies eine Reduzierung von ca. 125 km/h bei ungestörtem Verkehrsablauf auf ca. 109 km/h unter Berücksichtigung staubedingter Verlustzeiten.

Bewertet man die staubedingten Zeitverluste im deutschen Autobahnnetz für das Bezugsjahr 2000 monetär mit an die Bundesverkehrswegeplanung angelehnten Sätzen, können bei einer nutzerorientierten Betrachtung folgende Beträge nach Stauursache differenziert abgeschätzt werden:

Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe:	1 350 Mio. €
Unfälle:	940 Mio. €
Arbeitsstellen:	1 260 Mio. €
Summe:	3 550 Mio. €

Nothalte an Streckenabschnitten mit nur eingeschränkter Nothaltemöglichkeit außerhalb der Fahrbahn, die aufgrund ihrer temporären Kapazitätsreduktion zusätzliche Reisezeitverluste und damit Zeitkosten verursachen sowie Zeitverluste aufgrund von Umwegfahrten sind in diesen Angaben nicht enthalten.

Die errechneten und mit über 3,5 Mrd. € bewerteten Zeitverluste pro Jahr lassen der Thematik der Untersuchung eine erhebliche volkswirtschaftliche Bedeutung zukommen.

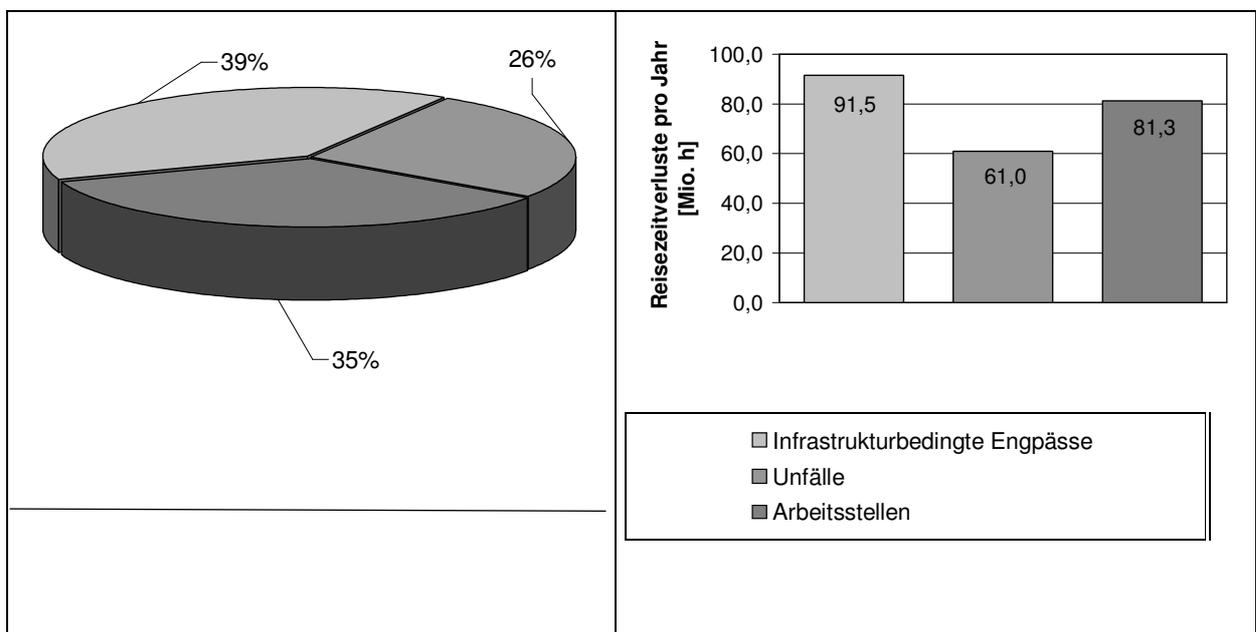


Bild 1: Verteilung der staubedingten Reisezeitverluste im Autobahnnetz nach Stauursachen