

Quantifizierung jährlicher staubedingter Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Störungsursache: Arbeitsstellen

FA 1.153

Forschungsstelle: Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrstechnik (Prof. Dr.-Ing. H. Zackor)

Bearbeiter: Ober-Sundermeier, A. / Otto, J.

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

Abschluss: Juni 2003

1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Laut der Statistik der koordinierten Baustellenplanung im Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, in der alle Arbeitsstellen eines Jahres mit einer Dauer über 14 Tagen erfasst sind, werden in der Bundesrepublik Deutschland jährlich zwischen 550 und 800 dieser Arbeitsstellen längerer Dauer zur Erneuerung oder Verbreiterung von Fahrbahnen sowie zur Erhaltung von Brücken eingerichtet. Abhängig von der Dauer der Arbeitsstellen (jährlich zwischen 70 000 und 90 000 Tagen) sowie ihrer räumlichen Ausdehnung sind damit im Mittel vier bis sechs Prozent des gesamten Autobahnnetzes durch Arbeitsstellen eingeschränkt. Betrachtet man die beiden im Rahmen dieser Arbeit zu Grunde gelegten Bezugsjahre genauer, zeigt sich, dass das Jahr 1998 mit rund 700 Arbeitsstellen (85 000 Tage) und einem betroffenen Netzanteil von 5,5 % eine vergleichsweise hohe Bauaktivität aufweist, während das Bezugsjahr 2000 mit rund 580 Arbeitsstellen (71 000 Tage) und einem Netzanteil von 4,0 % deutlich unter dem Durchschnitt liegt. Die Anzahl der Arbeitsstellen (längerer Dauer) mit einer Dauer zwischen 2 und 14 Tagen wird nicht zentral registriert, sie liegt jedoch nach Umfragen bei den zuständigen Landesbehörden bei etwa 600–700 pro Jahr (ca. 4 000 Tage). Einen weitaus stärkeren Einfluss auf den Verkehrsablauf eines Autobahnstreckenabschnittes haben jedoch die bislang qualitativ und quantitativ kaum erfassten Arbeitsstellen kürzerer Dauer (Tagesbaustellen). Im Gegensatz zu den Dauerbaustellen sind diese Arbeitsstellen auf Grund der einfachen Ausstattung in vielen Fällen mit der Sperrung eines oder mehrerer Fahrstreifen verbunden. Ihre Anzahl lässt sich – bezogen auf das gesamte Bundesgebiet – auf jährlich etwa 50 000–70 000 beziffern.

Bau- und Wartungsarbeiten an Autobahnen haben durch die damit verbundenen Fahrstreifenreduzierungen und/oder –eingengungen sowie Änderungen in der Linienführung einen großen Einfluss auf den Verkehrsablauf des von den Arbeiten betroffenen Autobahnabschnittes.

Ziel der hier vorliegenden Arbeit war die Quantifizierung sämtlicher durch Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer verursachter Zeitverluste auf Bundesautobahnen für die Bezugsjahre 1998 und 2000. Hierzu waren geeignete Modelle zur Beschreibung der Verkehrsnachfrage, der Kapazität der Arbeitsstellenengpässe sowie der Auswirkung auf den Verkehrsablauf zu entwickeln.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Datengrundlage

Wesentliche Voraussetzung für die Modellierung der Reisezeitverluste war die Verfügbarkeit von Informationen über die 1998 und 2000 tatsächlich durchgeführten Arbeitsstellen. Arbeitsstellen mit einer Dauer über 14 Tagen werden auf Grund des

bundesweit einheitlichen Meldeverfahrens in einer zentralen Statistik zusammengefasst, sodass alle relevanten Informationen, d. h. die Lage der Arbeitsstelle, der Zeitraum der Bauausführung und die Verkehrsführung, für beide Bezugsjahre vorliegen. Im Gegensatz dazu werden Arbeitsstellen mit einer Dauer bis zu 14 Tagen nicht zentral erfasst. Ihre Planung obliegt den einzelnen Landesbehörden, im Fall der Tagesbaustellen auch einzelnen Autobahnmeistereien. Für diese Arbeitsstellen konnten keine flächendeckenden Informationen akquiriert werden. Aus diesem Grund wurde eine Hochrechnung vorgenommen, die im Fall der Arbeitsstellen kürzerer Dauer (= 1 Tag) auf den Daten des Bundeslandes Hessen (1998) bzw. Nordrhein-Westfalen (2000) und im Fall der Arbeitsstellen längerer Dauer (2–14 Tage) auf den Daten der Arbeitsstellen mit einer Dauer über 14 Tagen beruht.

2.2 Modellierung der Verkehrsnachfrage

Die Modellierung der Verkehrsnachfrage erfolgte durch eine Disaggregation der aus der Straßenverkehrszählung verfügbaren abschnittsbezogenen DTV-Werte mittels typisierter abschnittsübergreifender Ganglinien. Die Menge der Schwerverkehrsfahrzeuge bildete dabei eine über die Zeitbereiche Tag bzw. Nacht konstante Größe. Um den Einfluss stochastischer Schwankungen in der Verkehrsnachfrage abbilden zu können, wurden die stündlichen Verkehrsmengen zusätzlich mittels einer Normalverteilung (Variationskoeffizient $V = 10\%$) um den ermittelten Erwartungswert gestreut.

Weiterhin lag der Modellierung ein Ansatz zur Verlagerung der Verkehrsnachfrage bei Überlastung des jeweiligen Arbeitsstellenengpasses zu Grunde, d. h. es wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass sowohl durch Gewöhnungseffekte (an Arbeitsstellen längerer Dauer) als auch durch Verkehrsinformationen Teile der zufließenden Verkehrsströme räumlich oder zeitlich verlagert werden. Da zur Ausprägung dieses Effektes bislang keine aussagekräftigen Untersuchungen vorlagen, wurde im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit eine auf Plausibilitätsüberlegungen basierende Verlagerungsfunktion in Abhängigkeit von der aktuellen Staulänge vor dem Engpass entwickelt und in das Berechnungsverfahren integriert.

2.3 Modellierung der Kapazität der Arbeitsstellenengpässe

Aufbauend auf dem Forschungsprojekt "Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulänge infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen" wurde eine fahrestreifenbezogene Grundkapazität von 1 830 Pkw-E/h angesetzt, die mittels Reduktionsfaktoren an die speziellen Randbedingungen in der Arbeitsstelle (Verkehrsführung, Verkehrszusammensetzung, Lage im Netz etc.) angepasst werden konnte.

2.4 Modellierung der Stauentwicklung

Die Modellierung der Stauentwicklung basiert auf einem klassischen makroskopischen Ansatz, bei dem die kollektiven Verkehrskenngrößen (Verkehrsstärke und Dichte im Zufluss- bzw. Arbeitsstellenbereich) zur Ermittlung einer Stoßwellengeschwindigkeit herangezogen werden. Die Geschwindigkeit dieser Stoßwelle charakterisiert wiederum die Bewegung der stromaufwärtigen Staufront, d. h. des Stauendes. Die sich aus dem Stau ergebenden Zeitverluste errechneten sich anschließend als Differenz aus der Fahrzeit durch den Stau und der Fahrzeit, die auf dem gleichen Streckenabschnitt ohne Arbeitsstelle benötigt worden wäre. Als Referenzgeschwindigkeit wurde dabei

zum einen die "reale" Geschwindigkeit, die sich verkehrsstärkeabhängig aus dem Fundamentaldiagramm ergibt, und zum anderen eine pauschale Geschwindigkeit von 80 km/h zu Grunde gelegt.

3. Ergebnisse

3.1 Gesamtreisezeitverluste an Arbeitsstellen im deutschen Autobahnnetz

Auf Grund der unterschiedlichen Qualität der zu Grunde gelegten Arbeitsstellendaten erfolgte auch die Berechnung der Reisezeitverluste getrennt nach den Kategorien:

- 1) Arbeitsstellen längerer Dauer über 14 Tagen
- 2) Arbeitsstellen längerer Dauer bis zu 14 Tagen
- 3) Arbeitsstellen kürzerer Dauer.

Die Ergebnisse in den ersten beiden Kategorien (Summe aller Arbeitsstellen längerer Dauer) konnten mit dem gewählten Modellansatz unter Berücksichtigung einer Verkehrsverlagerung bei starker Überlastung der Arbeitsstelle relativ zuverlässig ermittelt werden. Bei Ansatz der Geschwindigkeit auf der freien Strecke (ohne Arbeitsstelle) als Referenzzustand ergaben sich für das Bezugsjahr 1998 Zeitverluste in Höhe 61,56 Millionen Stunden, für das Jahr 2000 wurden insgesamt 53,62 Millionen Stunden berechnet. Die Differenz der Ergebnisse resultiert im Wesentlichen aus der im Bezugsjahr 1998 höheren Bauaktivität und der damit verbundenen größeren räumlichen Ausdehnung der Arbeitsstellenbereiche, sodass wesentlich höhere Zeitverluste durch Geschwindigkeitsbeschränkungen im Arbeitsstellenbereich auftraten.

Die Ermittlung der Reisezeitverluste an Arbeitsstellen kürzerer Dauer war auf Grund der mangelhaften Datengrundlage mit stärkeren Unsicherheiten behaftet. Die im Bezugsjahr 1998 verwendete Datenbasis des Bundeslandes Hessen stellte sich nach eingehenden Analysen als zum Teil unvollständig heraus, sodass eine Hochrechnung der ermittelten Reisezeitverluste auf das Bundesgebiet – auch nach Abgleich der Ergebnisse mit einer bestehenden Untersuchung von STÖCKERT – keine zufrieden stellenden Ergebnisse liefern konnte. Im Bezugsjahr 2000 konnte auf eine neue Datenbasis aus dem Bundesland Nordrhein-Westfalen zurückgegriffen werden, die eine wesentlich höhere Zuverlässigkeit aufwies. Die Hochrechnung der Ergebnisse des Untersuchungsgebiets auf das Bundesgebiet ergab jährliche Gesamtreisezeitverluste in Höhe von 27,73 Millionen Stunden (Referenzzustand freie Strecke). Der Anteil der Zeitverluste durch Stau liegt hier mit 24,49 Millionen Stunden (88 %) wesentlich höher als bei den Arbeitsstellen längerer Dauer. Auf Grund der geringen räumlichen Ausdehnung von Tagesbaustellen treten hier entsprechend geringe Zeitverluste durch Geschwindigkeitsbeschränkungen auf.

3.2 Anteile der Arbeitsstellentypen an den Reisezeitverlusten

Bei einem Vergleich der staubedingten Reisezeitverluste, die im Bezugsjahr 2000 an den einzelnen Arbeitsstellentypen auftraten, ergibt sich die in Bild 1 dargestellte Verteilung.

Demnach sind die jährlichen (staubedingten) Gesamtreisezeitverluste an Arbeitsstellen längerer und kürzerer Dauer zirka gleich hoch (48 % : 52 %). Betrachtet man die höhere Gesamtzahl an Arbeitsstellentagen von Arbeitsstellen längerer Dauer gegenüber Tagesbaustellen, so zeigt sich, dass der durchschnittliche tägliche Zeitverlust an Arbeitsstellen kürzerer Dauer mit etwa 540 Stunden pro Tag wesentlich höher liegt als an Arbeitsstellen längerer Dauer (über 14 Tagen) mit durchschnitt-

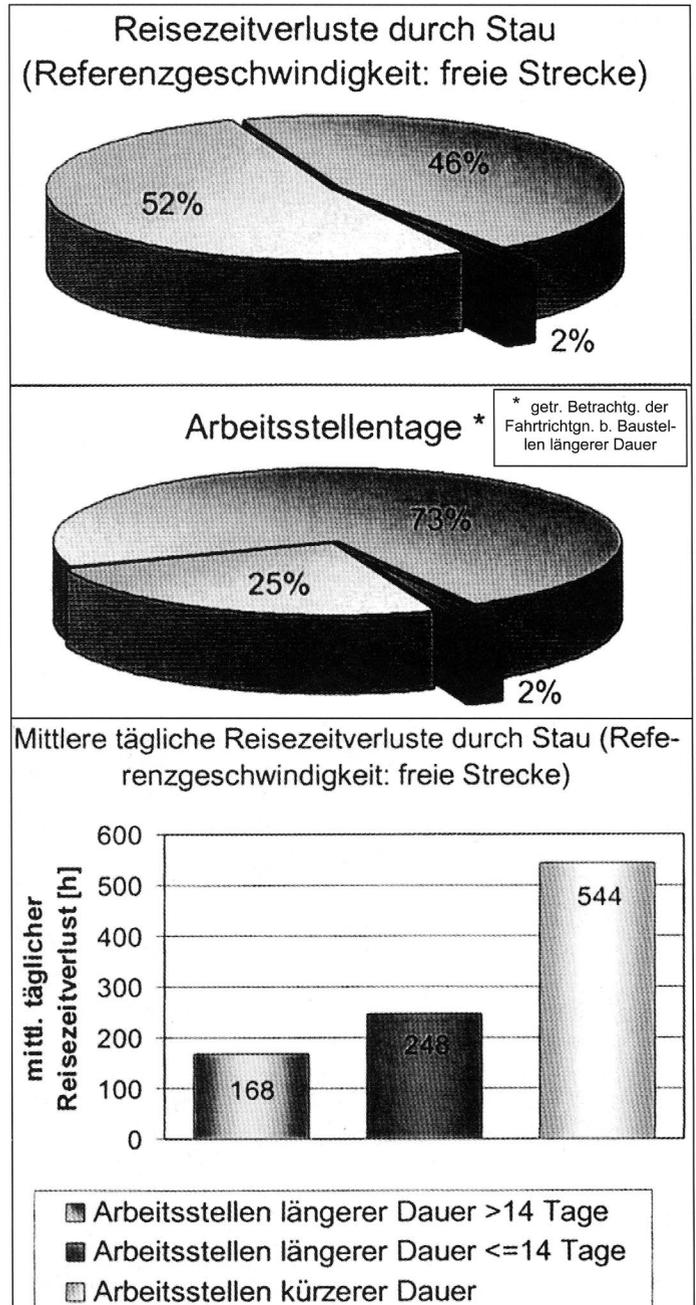


Bild 1: Verteilung der Reisezeitverluste durch Stau auf die Arbeitsstellentypen im Bezugsjahr 2000

lich 170 Stunden pro Tag. Arbeitsstellen längerer Dauer bis zu 14 Tagen fallen auf Grund ihres geringen Anteils an der Gesamtzahl der Arbeitsstellentage kaum ins Gewicht. Durchschnittlich treten hier staubedingte Reisezeitverluste von ca. 250 Stunden pro Arbeitsstellentag auf. Diese Ergebnisse belegen die von verschiedenen verantwortlichen Stellen geäußerte Ansicht, dass Arbeitsstellen kürzerer Dauer ein höheres Staurisiko aufweisen als Arbeitsstellen längerer Dauer. Die vergleichsweise hohen Staubelastungen an Arbeitsstellen kürzerer Dauer lassen sich durch den wesentlich höheren Anteil von Verkehrsführungen mit Fahrstreifenreduktionen und damit stark reduzierter Kapazität erklären. Zusätzlich kann sich der an Dauerbaustellen auftretende Gewöhnungseffekt, d. h. die von aktuellen Verkehrsinformationen unabhängige räumliche oder zeitliche Verlagerung von Fahrten bei täglich wiederkehrenden Überlastungen, an Arbeitsstellen kürzerer Dauer nicht einstellen.

3.3 Verteilung der Reisezeitverluste auf einzelne Arbeitsstellen

Bei der Analyse der Verteilung der ermittelten Reisezeitverluste auf die einzelnen Arbeitsstellen stellte sich heraus, dass relativ wenige Arbeitsstellen im Jahr den überwiegenden Teil der Reisezeitverluste verursachen. Dieser Effekt ist an Arbeitsstellen längerer Dauer stärker ausgeprägt als an Arbeitsstellen kürzerer Dauer. Aus diesen Ergebnissen lassen sich im Wesentlichen zwei Schlussfolgerungen ziehen:

- 1) Im Bereich der Arbeitsstellen längerer Dauer findet, z. B. durch die koordinierte Baustellenplanung des Bundes, bereits heute eine vergleichsweise gute Planung und Koordinierung statt. Einzelne stark stauverursachende Arbeitsstellen lassen sich auf Grund unbedingt notwendiger Baumaßnahmen in Verbindung mit hohen Grundverkehrsbelastungen vermutlich auch in Zukunft nicht vermeiden. Auf Grund des baulichen Zustands des Straßennetzes, insbesondere im Bereich der Ingenieurbauwerke, ist hier sogar mit einer weiteren Zunahme der gesamten Reisezeitverluste zu rechnen.
- 2) Es wird deutlich, dass die Summe der ermittelten Reisezeitverluste sowohl an Arbeitsstellen längerer als auch kürzerer Dauer in starkem Maß von der zuverlässigen Einschätzung des Verkehrsablaufs an einigen wenigen Arbeitsstellen abhängt.

3.4 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Wesentliche Erkenntnis der Sensitivitätsanalyse ist, dass die Modellierung der Verlagerung der Verkehrsnachfrage bei vorhandener Überlastung der Arbeitsstelle einen herausragenden Einfluss auf die Ergebnisse hat. Am Beispiel der Arbeitsstellen längerer Dauer im Bezugsjahr 2000 wurde aufgezeigt, dass die ohne Berücksichtigung dieser Verlagerung ermittelten Reisezeitverluste um ein Vielfaches höher liegen als mit Berücksichtigung dieses Effekts. Eine Analyse der Einzeldaten zeigt, dass ohne Ansatz einer Verlagerung an einem Großteil der Arbeitsstellen 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 hohen Investitionen auf dem Gebiet der Verkehrsinformation und der Verkehrssteuerung ausgegangen werden.

Da zum Ausmaß der Verlagerung bislang keine Untersuchungen vorliegen, ist die Modellierung an dieser Stelle mit Unsicherheiten behaftet. Die starken Differenzen zwischen den Ergebnissen mit und ohne Verlagerung von Verkehrsströmen sind grundsätzlich in der folgenden Weise 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 auf Grund einer angestrebten Fahrzeioptimierung gewählt werden, sodass durch die Verlagerung von Fahrten merklich 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. Die Summe aller Zeitverluste im gesamten Straßennetz, die direkt oder indirekt durch Engpasssituationen an Arbeitsstellen hervorgerufen werden, konnte aus Aufwandsgründen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht abgeschätzt werden.

3.5 Reisezeitverluste an Arbeitsstellen als Teil der Gesamtreisezeiten im Autobahnnetz

Die Gesamtfahrleistung auf Autobahnen betrug im Bezugsjahr 2000 etwa 203 Mrd. Fz-km [BMVBW, 2002]. Bei Ansatz einer durchschnittlichen (freien) Geschwindigkeit von 130 km/h für Pkw und 80 km/h für Lkw ergeben sich daraus Fahrzeiten in Höhe von etwa 1,7 Mrd. Stunden pro Jahr ohne Verluste durch Stau (Pkw: 1,3 Mrd. h; Lkw: 0,4 Mrd. h). Werden diese Fahrzeiten zu den an Arbeitsstellen ermittelten Reisezeitverlusten (des gleichen Bezugsjahres 2000) in Relation gesetzt, so zeigt sich, dass Arbeitsstellen im Jahr 2000 bezogen auf die Gesamtreisezeiten (im störungsfreien Verkehrsablauf) im deutschen Autobahnnetz einen mittleren Zuschlag von etwa fünf Prozent verursachten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Bezugsjahr 2000 verhältnismäßig wenige Arbeitsstellen längerer Dauer eingerichtet wurden. Weiterhin wird der Anteil der Reisezeitverluste an Arbeitsstellen kürzerer Dauer bezogen auf das Bundesgebiet eher unterschätzt, da die zur Hochrechnung verwendeten Daten aus einem Untersuchungsgebiet stammen, in dem bereits seit mehreren Jahren ein Baustellenmanagementsystem eingeführt ist. Auf Grundlage der Berechnungsergebnisse der beiden Bezugsjahre in Abhängigkeit von der Beurteilung der jeweiligen Datenqualität und der für die Jahre 1995–2002 bekannten Daten der Baustellenstatistik für Arbeitsstellen längerer Dauer größer 14 Tage wird daher je nach Bautätigkeit von einer Schwankungsbreite des Aufschlagsfaktors von 5,5 bis 6,5 Prozent ausgegangen.

4. Schlussfolgerungen

Die Reisezeitverluste wurden nach der Dauer der Arbeitsstellen kategorisiert, berechnet und modelliert sowie mit tatsächlichen Werten verglichen. Zur Verbesserung der Modellierung wurde eine Funktion zur Verlagerung von Verkehrsnachfrage-Anteilen bei wahrscheinlicher Überlastung der Engpässe eingeführt, die zu einer tatsächlichen Verringerung der Überlastung führen kann.

Auf der Grundlage von Sensitivitätsanalysen wurde die Stabilität der Modelle insbesondere in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Datengrundlage beurteilt. Hinsichtlich einer fortlaufenden jährlichen Anwendung des Verfahrens wurden die grundsätzliche Anwendbarkeit nachgewiesen und die notwendigen Aktionspunkte hinsichtlich der Datengrundlage und bestehender Wissenslücken in der Empirie identifiziert und dargestellt. Endgültige Aussagen zu Reisezeitverlusten müssen auch immer die unterschiedlichen Eingangsdaten wie Verkehrsführung, Zeitraum der Bauausführung usw. berücksichtigen.

Neben den Verlustzeiten an Arbeitsstellen ergeben sich weitere Reisezeitverluste und damit Zuschläge auf die Grundfahrzeit durch kapazitätsbedingte (dauerhafte) Engpässe sowie durch temporäre Störfälle (Unfälle und Nothalte), deren Ermittlung jedoch nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit war. □