

## Quantifizierung von Verlagerungseffekten bei Bundesautobahnen (BAB) im Rahmen von Bewertungsverfahren für Erhaltungsmaßnahmen (Stufe 1): Entwicklung eines geeigneten methodischen Vorgehens

FA 1.168

Forschungsstelle: MUVEDA, Aachen / IGS, Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, Neuss

Bearbeiter: Laffont, S./Mahmoudi, S./Dohmen, R./Funke-Akbiyik, R./Vieten, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Juni 2011

Ziel des Forschungsvorhabens war deshalb, ein möglichst genaues – und praxistaugliches – Verfahren zur Quantifizierung der Verkehrsverlagerungen bei Arbeitsstellen im Bereich der Bundesautobahnen zu entwickeln. Durch die Bestimmung der für die Verlagerungswirkungen maßgeblichen Einflussgrößen und ihre Übernahme in ein Berechnungsverfahren sollte die Quantifizierung des Verlagerungspotenzials als Grundlage für Bewertungen im Rahmen des PMS und des BMS ermöglicht werden. Abschließend war – wenn möglich – ein Modell zu entwickeln, das unter Nutzung der in der Praxis verfügbaren Informationen in der Lage ist, durch Arbeitsstellen bedingte Verlagerungseffekte mit hinreichender Genauigkeit zu beschreiben, um diese dann im Rahmen von gesamtwirtschaftlichen Betrachtungen berücksichtigen zu können.

### 1 Aufgabenstellung

Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen gehören zu den wichtigen Aspekten bei der Beurteilung von Verkehrswegeinvestitionen. Die bekannten, auf den Methoden der Nutzen-Kosten-Analyse basierenden volkswirtschaftlichen Bewertungsverfahren werden dazu häufig an die unterschiedlichen spezifischen Fragestellungen angepasst und deren Ergebnisse als eine entscheidende Unterstützung bei der Optimierung von Lösungskonzepten herangezogen.

Wie die bisherigen Erfahrungen bei der Bewertung von Neu- und Ausbaumaßnahmen im Straßennetz belegen, resultieren die höchsten Nutzenbeiträge aus den zeit- und verkehrsablaufabhängigen Bewertungskomponenten, die zu Veränderungen der Transportkosten im gewerblichen Verkehr und der Fahrzeitkosten im privaten Verkehr führen. Auch bei der vorgesehenen Bewertung von mit Erhaltungs- und Ausbaumaßnahmen verbundenen Verkehrsraumeinschränkungen durch Arbeitsstellen im Rahmen des BMS (Bauwerks-Management-System) und des PMS (Pavement Management System) im Bundesautobahnnetz ist davon auszugehen, dass neben Verkehrssicherheitsaspekten die Fahrzeitänderungen das Ergebnis wesentlich beeinflussen.

Die Veränderungen der Fahrzeit können einerseits auf die angeordneten Geschwindigkeitsbegrenzungen im Arbeitsstellenbereich zurückgeführt werden. Andererseits können sich aber auch Verkehrsverlagerungen auf Alternativstrecken insbesondere während der Tagesstunden mit starker Belastung bzw. Überlastung des betrachteten Arbeitsstellenabschnitts ergeben. Daher wird das Ergebnis der Maßnahmenbewertung auch durch eventuell eintretende Verkehrsverlagerungen beeinflusst.

Während detaillierte Untersuchungsergebnisse zu den Kapazitätsminderungen durch verschiedene Verkehrsführungen an Arbeitsstellen zu Staulängen und zur Staudauer vorliegen, gibt es zu den Verlagerungswirkungen von Arbeitsstellen bisher nur grobe Schätzwerte, die – je nach Zielrichtung – stark differieren. Im Bezug auf die eventuell maßgeblichen Größen, die die Verlagerungseffekte beeinflussen, gibt es zwar grundsätzliche Annahmen, die jedoch nur unzureichend durch Fakten belegt sind. Aufgrund dieser Unsicherheiten wurden bei den bisherigen Betrachtungen Verkehrsverlagerungen durch Arbeitsstellensituationen auf Autobahnen entweder gänzlich vernachlässigt oder durch pauschale Annahmen abgeschätzt. Bei einer Berücksichtigung von durch Arbeitsstellen bedingten Verkehrsverlagerungen im Rahmen von gesamtwirtschaftlichen Bewertungen sind aber nicht nur die veränderten Verkehrsbelastungen auf dem betreffenden Autobahnabschnitt sondern auch die Belastungszunahmen im nachgeordneten Straßennetz zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Berechnungsverfahren sollten als wesentliche Eingangsgrößen in die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit erwogener Erhaltungsmaßnahmen einfließen. Durch eine genauere Ermittlung des Verlagerungspotenzials sollte die Aussagegenauigkeit der Bewertungsergebnisse deutlich verbessert werden. Die Ergebnisse des Vorhabens bilden somit eine weitere Grundlage für künftige Bedarfs- und Investitionsplanungen der Bundesrepublik Deutschland als Baulastträger der Bundesautobahnen.

### 2 Untersuchungsmethodik

Grundlage der Untersuchung bildeten, neben Auswertungen der Daten der Straßenverkehrszählung 2005 (SVZ 2005), Datenauswertungen an den rund 1350 automatischen Zählstellen im Bundesfernstraßennetz. Diese Daten wurden für die Jahre 2005, 2006, 2007 und das erste Quartal 2008 für das gesamte Bundesfernstraßennetz ausgewertet. Die Ermittlung möglicher Verlagerungseffekte wurde zusätzlich an ausgewählten Beispielen mithilfe von makroskopischen Verkehrsmodellen analysiert. Hierzu wurde auf das Verkehrsmodell der Bundesverkehrswegeplanung zurückgegriffen.

In einem ersten Schritt wurden die Daten der automatischen Dauerzählstellen aufbereitet. Hierzu wurden Programmroutinen für das Statistik-Softwarepaket SAS (Statistical Analysis System) entwickelt, mit denen die stündlichen Verkehrswerte der Dauerzählstellen kontrolliert und implausible oder lückenhafte Daten entfernt wurden. Die Daten zu den Arbeitsstellen auf Autobahnen wurden ebenfalls auf Plausibilität geprüft. Für die weiteren Auswertungen wurden Arbeitsstellen- und Dauerzählstellendaten miteinander verknüpft, indem den einzelnen Arbeitsstellen in unmittelbarer Nähe liegende Dauerzählstellen zugeordnet wurden.

Für alle untersuchten Arbeitsstellenrichtungen wurden die stündlichen Verkehrsbelastungen während der morgendlichen Spitzenzeiten zwischen 7:00 Uhr und 9:00 Uhr sowie während der nachmittäglichen Spitzenzeiten zwischen 16:00 Uhr und 19:00 Uhr ermittelt. Ein Vergleich der stündlichen Verkehrsbelastungen zwei Wochen vor Beginn der Arbeitsstelle mit den entsprechenden Werten während der ersten zwei Wochen mit Arbeitsstelle lieferte eine Aussage zu den möglichen durch Arbeitsstellen bedingten Verkehrsverlagerungen. Gleiches wurde für die zweiten zwei Wochen und die dritten zwei Wochen mit Arbeitsstelle gegenüber den letzten zwei Wochen vor Arbeitsstellenbeginn sowie für die ersten zwei Wochen nach Arbeitsstellenende gegenüber den letzten zwei Wochen vor Arbeitsstellenbeginn durchgeführt.

Des Weiteren wurde das Arbeitsstellenkollektiv selektiert nach Arbeitsstellen oberhalb der Leistungsfähigkeitsgrenze, nach der Arbeitsstellendauer sowie nach weiteren Kenngrößen. Auswertungen nahe gelegener Dauerzählstellen im nachgeordneten Netz an möglichen Umfahrungsrouten wurden vorgenommen ebenso wie Untersuchungen zeitlicher Verlagerungen sowie Modellrechnungen an ausgewählten Beispielen. Regressionsanalysen am gesamten Arbeitsstellenkollektiv und an ausgewählten Teilkollektiven dienten der Ermittlung möglicher Abhängigkeiten der Verlagerungseffekte von einer Vielzahl von verkehrstechnischen Kenngrößen, u. a. auch der Verlustzeiten, die mit dem Programm QuantAS ermittelt wurden, sowie der Qualität des nachgeordneten Straßennetzes.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Der Mittelwert der Verkehrsabnahme in den ersten zwei Wochen nach Realisierung der Arbeitsstellen betrug für alle untersuchten 876 Arbeitsstellenrichtungen 1,7 % für den Kfz-Verkehr und 1,3 % für den Lkw-Verkehr. Das bedeutet, dass sich der Kfz-Verkehr innerhalb der ersten zwei Wochen einer Arbeitsstelle im Mittel um 1,7 % gegenüber dem zweiwöchigen Zeitraum vor der Arbeitsstelle reduziert hatte. In den zweiten zwei Wochen nach Einrichtung der Arbeitsstelle erhöhte sich der Verlagerungseffekt auf 2,7 %, gefolgt von einem Rückgang um 1,0 % in dem dritten Zwei-Wochen-Zeitraum (jeweils bezogen auf den Zeitraum vor Einrichtung der Arbeitsstelle). Nach Beendigung der Arbeitsstelle war ein weiterer leichter Rückgang der Verkehrsbelastung im Vergleich zum Zeitraum vor Arbeitsstellenbeginn um 0,7 % festzustellen. Für den Lkw-Verkehr wurden prinzipiell ähnliche Werte ermittelt. Tendenziell zeigten sich jedoch für den Lkw-Verkehr geringere Verlagerungseffekte als für den Kfz-Verkehr insgesamt. Lkw-Fahrer benutzen Alternativrouten offenbar nur in geringerem Umfang.

Die Mehrheit der Verkehrsteilnehmer wird offenbar in den ersten zwei Wochen durch die Arbeitsstelle und die dadurch bedingten Zeitverluste überrascht, sodass Verlagerungen nur in relativ geringem Umfang stattfinden. In dem zweiten Zwei-Wochen-Intervall reagieren die Verkehrsteilnehmer stärker, sodass die räumlichen Verlagerungen zunehmen. In den dritten zwei Wochen nach Einrichtung der Arbeitsstelle findet dann im Mittel offenbar eine Umkehr des Prozesses statt. Mangels Alternativstrecken, die sich als zeitsparend erwiesen haben, verbleiben die Verkehrsteilnehmer wieder vermehrt auf den Streckenabschnitten mit Arbeitsstelle; genutzte Alternativen haben sich teilweise als ungünstig erwiesen.

Neben der Betrachtung aller Arbeitsstellen wurden auch Teilkollektive untersucht, u. a. Arbeitsstellen mit einer Dauer von weniger als 60 Tagen, Arbeitsstellen mit Verkehrsbelastungen oberhalb der Leistungsfähigkeitsgrenze sowie Teilkollektive von Arbeitsstellen, bei denen sich die zugeordnete Dauerzählstelle im gleichen Abschnitt befindet bzw. bei denen eine oder mehrere Anschlussstellen zwischen Arbeitsstelle und Zählstelle lagen. Dabei wurden kaum Unterschiede zu den vorherigen Ergebnissen festgestellt. Im Rahmen weiterer Berechnungsschritte wurden untypische Arbeitsstellen – z. B. kürzer dauernde Arbeitsstellen in der Weihnachtszeit bzw. um den Jahreswechsel herum – aus dem Untersuchungskollektiv ausgeklammert. Diese sowie weitere gesonderte Auswertungen für Arbeitsstellen mit kurzer Länge und Arbeitsstellen mit geringen bzw. höheren Schätzwertanteilen der Dauerzählstellen erbrachten keine wesentlichen Unterschiede zu den vorherigen Ergebnissen.

Neben der Verlagerung von Verkehren auf alternative Strecken können sich auch zeitliche Verlagerungen einstellen, um durch Arbeitsstellen bedingten Kapazitätsengpässen während der Spitzenstunden auszuweichen. Dies äußert sich in einer möglichen Verschiebung oder Ausdehnung der morgendlichen und/oder nachmittäglichen Verkehrsspitzen. Hierzu wurden die

Verkehrsbelastungen aller untersuchten Arbeitsstellenrichtungen für die einzelnen Tagesstunden berechnet. Anhand der durchgeführten Auswertungen ließ sich eine Ausdehnung der Spitzenstunden infolge der Arbeitsstellensituationen jedoch nicht erkennen. Es erfolgten demnach keine zeitlichen Verlagerungen in Zeitbereiche mit niedrigeren Verkehrsbelastungen.

Rund vier Wochen nach Arbeitsstellenbeginn scheint der Verkehr wieder das ursprüngliche Niveau zu erreichen, sodass überwiegend von temporären Verlagerungswirkungen auszugehen ist.

Ergänzend zu der Auswertung der automatischen Zählergebnisse auf den Autobahnabschnitten mit Arbeitsstellen wurde überprüft, inwieweit sich durch Arbeitsstellen bedingte Belastungsänderungen auch im nachgeordneten Straßennetz nachweisen lassen. Insgesamt konnten 44 Arbeitsstellen identifiziert werden, für die automatische Zählgeräte auf einem Autobahnabschnitt und einer parallel verlaufenden Bundesstraße verfügbar waren. Nach Einrichtung der Arbeitsstelle reduzierte sich die Verkehrsbelastung auf den Autobahnabschnitten im Mittel um knapp 2 %, während die Verkehrsbelastung auf den parallelen Bundesstraßen durchschnittlich um rd. 3 % zunahm. Für den Lkw-Verkehr fielen diese Zunahmen mit rd. 6 % sogar deutlich stärker aus. Nach Beendigung der Arbeitsstellensituation reduzierten sich die Verlagerungen wieder: Die Verkehrsbelastungen auf den betroffenen Autobahnabschnitten nahmen wieder zu, während sich die Belastungen auf den parallelen Bundesstraßenstrecken reduzierten.

Zusätzlich erfolgte eine Auswertung der Staumeldungen auf Autobahnen, um evtl. vorhandene Abhängigkeiten zwischen den Belastungsänderungen in Arbeitsstellenbereichen und den Verkehrsmeldungen im Modell zur Abbildung der durch Arbeitsstellen bedingten Verkehrsverlagerungen zu berücksichtigen. Deutlich erkennbar ist, dass die durchschnittliche Anzahl der täglichen Verkehrsmeldungen während der Arbeitsstellenzeit über den entsprechenden Zahlen vor dem Beginn bzw. nach dem Ende der Arbeitsstelle liegt. Insofern manifestiert sich hier die Annahme, dass durch die Einrichtung von Arbeitsstellen zusätzliche Staus, die ja in der Regel die Ursache für Verkehrsmeldungen sind, erzeugt werden. Nach dem Ende der Arbeitsstelle reduzierte sich die Anzahl der Verkehrsmeldungen im Bereich der jeweiligen Arbeitsstellen wieder deutlich.

Zur Analyse möglicher Abhängigkeiten der Verkehrsverlagerungen von verschiedenen Kenngrößen wurden multiple lineare Regressionsanalysen durchgeführt. Als unabhängige Einflussgrößen wurden die Fahrstreifenanzahl vor und während der Baustellendauer, die Verkehrsstärke bzw. der Auslastungsgrad, die Verfügbarkeit von Parallelstrecken im nachgeordneten Straßennetz, die zulässige Höchstgeschwindigkeit sowie der Ferienverkehrsfaktor und der Jahresganglinientyp am Zählquerschnitt ermittelt. Die Regressionsanalysen zeigten je nach Fahrstreifenreduktion mehr oder weniger ausgeprägte Korrelationen zwischen der Verkehrsveränderung und den betrachteten Modellkenngrößen, eindeutige Abhängigkeiten waren jedoch nicht feststellbar. Im Rahmen von Clusteranalysen wurde als wesentliches Merkmal der Ferienverkehrsfaktor für Arbeitsstellentypen mit Fahrstreifenreduzierung ermittelt. Aufgrund der hohen Streuungen erbrachten auch die Clusteranalysen mit Ausnahme des Ferienverkehrsfaktors keine weiteren, stark ausgeprägten Merkmalsdifferenzierungen.

Zusammenfassend zeigten die durchgeführten Analysen die folgenden Ergebnisse:

- Während der Arbeitsstellenzeit ergibt sich in den Spitzenstunden eine signifikante Änderung der Verkehrsbelastungen auf den Autobahnabschnitten, die Verkehrsabnahmen liegen in der Größenordnung von 2 bis 5 %.

- Die Streuungen sind allerdings sehr groß; auf einem erheblichen Teil der betrachteten Abschnitte ergeben sich sogar Verkehrszunahmen während der Arbeitsstellenzeit im Vergleich zum Zeitraum vor Einrichtung der Arbeitsstelle.
- Die Verkehrsabnahmen während der Arbeitsstellenzeit sind auf die Spitzenstunden begrenzt; außerhalb der Spitzenstunden wurden keine signifikanten Veränderungen der Verkehrsbelastungen festgestellt.
- Da Verlagerungswirkungen lediglich für Spitzenstunden ermittelt wurden, ergibt sich über den Tag gesehen eine Verkehrsverlagerung von im Mittel deutlich unter 1 %.
- Im Rahmen der durchgeführten Regressionsanalysen konnten keine Einflussfaktoren ermittelt werden, die die erheblichen Schwankungen der durch Arbeitsstellen bedingten Belastungsänderungen mit einer ausreichenden Zuverlässigkeit beschreiben; die Bestimmtheitsmaße liegen bei allen Auswertungen unter 0,4.
- Anhand von durchgeführten Clusteranalysen konnten nur in geringem Maße Teilmengen ermittelt werden, die durch bestimmte Merkmalskombinationen diejenigen Einflussfaktoren offenlegen, die ursächlich für die (insgesamt geringen) Verlagerungseffekte wären.
- Bei der Auswertung von Zählstellen auf parallel zu Autobahnen verlaufenden Bundesstraßen konnten zwar im Mittel Verkehrszunahmen während der Arbeitsstellenzeit auf der parallelen Bundesstraße festgestellt werden. Auch in den Fällen, in denen auf der Autobahn Verkehrsabnahmen erkennbar waren, ergaben sich jedoch nicht in jedem Fall auch Zunahmen auf den parallel verlaufenden Bundesstraßen.
- Aufgrund früherer Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Autobahnbaustellen (die Eingang in das Programmsystem QuantAS gefunden haben) liegt der Schluss nahe, dass die Verkehrsbelastung der Richtungsfahrbahn (oder gemittelt je Fahrstreifen) ein wesentlicher Einflussfaktor für die Entstehung durch Arbeitsstellen bedingter Staus ist und somit als zentraler Parameter für durch Arbeitsstellen bedingte Verlagerungswirkungen zu sehen ist.
- Eine Differenzierung/Zusammenfassung der Arbeitsstellenrichtungen nach vier unterschiedlichen Typen von Verkehrsführungen (Reduzierung von 2 auf 1 Fahrstreifen, Beibehaltung von 2 Fahrstreifen im Arbeitsstellenbereich, Reduzierung von 3 auf 2 Fahrstreifen, Beibehaltung von 3 Fahrstreifen im Arbeitsstellenbereich) führte zu dem Ergebnis, dass immer dann, wenn die Fahrstreifenanzahl in der Arbeitsstelle reduziert wird, am ehesten Veränderungen der Verkehrsbelastungen auf der Autobahn während der Arbeitsstellenzeit zu erwarten sind.

- Nennenswerte Verkehrsverlagerungen konnten lediglich für die Arbeitsstellensituationen ermittelt werden, bei denen eine Reduzierung von 2 auf 1 oder von 3 auf 2 Fahrstreifen erfolgte.
- Die Verlagerungswirkungen klingen im Verlauf der Arbeitsstellenzeit ab. Offenbar testen Verkehrsteilnehmer nach Einrichtung der Arbeitsstelle Alternativen, kehren aber nach einiger Zeit überwiegend zur Autobahn zurück, wenn sich herausstellt, dass die Alternativen keine Zeitvorteile im Vergleich zur Nutzung der Autobahn bieten. Bei längerfristigen Arbeitsstellen wurde festgestellt, dass sich die Verkehrsbelastungen nahezu vollständig an den Zustand vor Einrichtung der Arbeitsstelle angleichen.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Die auf Basis der für den Zeitraum Januar 2005 bis März 2008 ausgewerteten Daten zu Arbeitsstellen und automatischen Zählergebnissen führten zu der Erkenntnis, dass Arbeitsstellen auf Autobahnen nur zu sehr geringen Verkehrsverlagerungen führen, die auf die Spitzenstunden beschränkt bleiben. Außerdem nehmen die Verkehrsverlagerungen im Laufe der Betriebszeit der Arbeitsstellen ab und erreichen bei länger dauernden Arbeitsstellen schon vor Arbeitsstellenende wieder den Belastungswert vor Einrichtung der Arbeitsstelle.

Größere Verlagerungswirkungen wurden lediglich bei Arbeitsstellen mit Fahrstreifenreduzierung (von 2 auf 1 bzw. von 3 auf 2 Fahrstreifen) festgestellt. In der folgenden Tabelle 1 ist eine Zusammenstellung von Abminderungsfaktoren enthalten, die sich aus den Auswertungen – nach entsprechender Glättung der Ergebnisse – ergeben. Die Differenzierung nach dem Ferienverkehrsfaktor kleiner und größer 1,0 wurde hierbei aufgrund der Ergebnisse aus den Clusteranalysen vorgenommen.

Aufgrund der Erkenntnisse, dass

- durch Arbeitsstellen bedingte Verkehrsverlagerungen auch bei hohen Streckenbelastungen deutlich niedriger sind als bisher vielfach angenommen,
- die Verkehrsverlagerungen sich auf die hochbelasteten Stundenbereiche beschränken,
- die Verkehrsverlagerungen mit der Arbeitsstellendauer abklingen und
- keine funktionalen Abhängigkeiten mit hohem Bestimmtheitsmaß ermittelt werden konnten, was darauf schließen lässt, dass die individuellen Einflussfaktoren so komplex sind, dass sie nicht standardisiert erfasst werden können,

ist die Berücksichtigung von durch Arbeitsstellen bedingten Verkehrsverlagerungen auf Autobahnen im Rahmen von gesamtwirtschaftlichen Bewertungen nach dem Verfahren der Nutzen-Kosten-Analyse vermutlich nur in sehr geringem Umfang ergebnisrelevant.

**Tabelle 1: Baustellenbedingte Veränderung der stündlichen Verkehrsbelastung in Abhängigkeit von der zugehörigen mittleren stündlichen Verkehrsbelastung je Fahrstreifen (Kfz/h) vor Beginn der Arbeitsstelle für verschiedene Fahrstreifenreduzierungen**

Belastungsklasse	Abminderungsfaktoren					
	Reduktion 2 auf 1 FS		Beibehaltung von 2 FS		3 auf 2 FS	3 FS
Verkehrsstärke je Fahrstreifen	fer ≤ 1,0	fer > 1,0	fer ≤ 1,0	fer > 1,0	–	–
≤ 1.000 Kfz/h	keine Änderung					
> 1.000 ... ≤ 1.200 Kfz/h	0,96	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99
> 1.200 ... ≤ 1.400 Kfz/h	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
> 1.400 ... ≤ 1.600 Kfz/h	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
> 1.600 ... ≤ 1.800 Kfz/h	0,94	0,96	0,97	0,98	0,96	0,99
> 1.800 Kfz/h	0,94	0,96	0,97	0,98	0,94	0,99