

6 Zusammenfassung

Auftrag dieser Arbeit war es, die Besonderheiten des Verkehrs auf Autobahnen unter winterlichen Bedingungen zu untersuchen, zu beschreiben und zu bewerten. Aus der Kenntnis, dass winterlich bedingte Fahrbahnzustände auf deutschen Autobahnen pro Jahr nur stundenweise auftreten, sollten Ergebnisse erarbeitet werden, die das Ausmass der veränderten Verkehrsnachfrage, von veränderten mittlerer Geschwindigkeiten und von winterlich bedingten Störungen beschreiben. Als ein wesentliches **Ziel der Arbeit** sollte der Zeitmehrbedarf, der den Verkehrsteilnehmern durch winterliche Witterung auf freien Streckenabschnitten der Autobahnen entsteht, ermittelt werden.

Zur Schaffung einer ausreichenden Datengrundlage wurde eine **Messmethodik** entwickelt und über die drei Winterperioden 1996/97 bis 1998/99 angewendet. Es wurde ein mit-ohne-Vergleich durchgeführt, bei dem Messwerte winterlicher Tage Messwerten nicht-winterlicher Vergleichstage gegenübergestellt wurden. Zur Einordnung der untersuchten Tage in winterliche und nicht-winterliche Tage wurde der Witterungsverlauf mithilfe der Prognosen des Straßenzustands- und Wetter-Informationssystems (SWIS) nachgebildet. Für Streckenabschnitte unterschiedlicher Längsneigungen und Fahrstreifenzahlen wurden an 16 lokalen Messquerschnitten Verkehrsnachfrage- und Geschwindigkeitsdaten erhoben, die neben den direkt erfassten Messwerten auch ein Bild über die Zusammensetzung des Verkehrs im Winter lieferten. Neu war die Vorgehensweise zur differenzierten Bestimmung von Lkw-Reisegeschwindigkeiten: hier kamen mobile Satellitennavigatoren (GPS-Geräte) zum Einsatz, die über grosse Entfernungen auf Lastkraftwagen mitgeführt wurden und es ermöglichten, aus räumlich-zeitlichen Messdaten Geschwindigkeitsbänder für winterliche und nicht-winterliche Witterungsbedingungen auf denselben Streckenabschnitten zu erstellen. In sieben für den Mittelgebirgsraum repräsentativen Autobahnmeistereien wurde ausserdem eine Erfassung von Störungen des Verkehrsablaufs im Winter vorgenommen. Zusätzlich wurde eine bundesweite Umfrage in sämtlichen 186 Autobahnmeistereien zum winterlich bedingten Staugeschehen durchgeführt und ausgewertet.

Die **Auswertung** der erhobenen Daten der lokalen Messstellen wurden so vorgenommen, dass sowohl die einzelnen Fahrstreifen als auch die Gesamtquerschnitte in Stundengruppen (60-min-Intervalle) betrachtet werden konnten. Dann wurden zunächst vollständige Tage miteinander verglichen, später einzelne Stundengruppen gleicher Verkehrsnachfrage, gesondert die in Staustunden. Aus den gemessenen Lkw-Geschwindigkeiten der räumlich-zeitlichen Messdaten wurden Fahrzeitbedarfswerte für winterliche bzw. nicht-winterliche Fahrten abgeleitet. Ferner wurden winterlich bedingte Störungen, ihre Gründe und Folgen (Dauer und Länge, Art der Stillstände, Fahrstreifenanzahl, Längsneignungsverhältnisse und Verkehrsbelastungen der betroffenen Streckenabschnitte, Uhrzeit Staubeginn) sowie Einflüsse auf das Staugeschehen (negative Einflüsse des Wetters und des Verkehrs, Wirksamkeit des Wetter- und Winterdienstes) ermittelt und bewertet.

Die **Ergebnisse der lokalen Messstellendaten** sind folgende:

- Die Verkehrsnachfrage und die mittleren Geschwindigkeiten gehen an Wintertagen zurück.
- An Sonn- und Feiertagen ist ein stärkerer Rückgang festzustellen als an Werktagen.
- Die Auswirkungen von winterlichen Fahrbahnen sind am stärksten auf den linken Fahrstreifen festzustellen, rechte und mittlere Fahrstreifen weisen weniger ausgeprägte Rückgänge auf.
- Der Pkw-Verkehr reagiert stärker auf winterliche Wettersituationen als der Güterverkehr.
- Durch die Rückgänge des Pkw-Verkehrs sind für Wintertage grössere GV-Anteile festzustellen.
- Bei Winterwitterung wird eine starke Zunahme des Güterverkehrs auf den mittleren und linken Fahrstreifen beobachtet.

Bei differenzierter Betrachtung der Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von den Längsneignungsverhältnissen fällt auf, dass Gefällestrecken mit geringeren Geschwindigkeiten befahren werden als ebene Strecken oder Steigungsstrecken. Dies deckt sich anderen

Forschungsergebnissen aus jüngerer Zeit (z.B. PONZLET 1996). Grosse Geschwindigkeitsrückgänge in Gefällestrrecken sind auf die Erfahrung der Verkehrsteilnehmer zurückzuführen, die wissen, dass im Falle einer glatten Fahrbahn von Gefällestrrecken eine grössere Gefahr ausgeht als von Steigungsstrrecken (verminderte Griffigkeit führt in Gefällen zu längeren Bremswegen und zum leichteren Verlust der Fahrzeugkontrolle). Vereinzelt werden in ebenen Strrecken (Längsneigungen $< 2\%$) aber auch Geschwindigkeitszunahmen beobachtet, die auf „freiere“ Fahrt durch die geringere Verkehrsnachfrage zurückzuführen sind.

Ferner wurden die veränderten mittleren Geschwindigkeiten der lokalen Messungen einer statistischen Analyse unterzogen. Mit Hilfe der t-Verteilung wurde überprüft, ob die Rückgänge an winterlichen Tagen signifikant sind. Ausgewählt und vertieft untersucht wurden die Randbedingungen „Längsneignungsverhältnisse“ und „Fahrstreifenanzahl“ in den Kategorien $S > 4\%$, $2\% < S < 4\%$, $S < 2\%$, $G > 4\%$, $2\% < G < 4\%$ und $G < 2\%$ für zwei- und dreistreifige Strreckenabschnitte. Die Ergebnisse zeigen, dass für (fast) alle Randbedingungen signifikante Rückgänge vorliegen. Nur bei nahezu ebenen zweistreifigen Strrecken ($S < 2\%$ bzw. $G < 2\%$) sind sie an Werktagen (rechter und linker Fahrstreifen) und an Sonn- und Feiertagen (rechter Fahrstreifen) nicht signifikant.

Aus den **räumlich-zeitlichen Messungen** konnte als Ergebnis abgeleitet werden, dass der Güterverkehr in seiner Geschwindigkeitswahl wenig auf winterliche Verhältnisse reagiert. Ein kleiner Geschwindigkeitsrückgang bei Winterwitterung ist aber auch hier festzustellen.

Im Rahmen der **Erfassung winterlich bedingter Störungen** wurden in drei Wintern und in sieben Autobahnmeistereien über 90 Störungen aufgezeichnet und ausgewertet. Wesentliche Gründe der Störungen sind neben der Winterwitterung (Hauptgrund) die grosse Verkehrsnachfrage, Unfälle, Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer, Rückstaus (Sekundärstaus) und Engstellen (Arbeitsstellen). Besonderes Merkmal winterlich bedingter Störungen ist, dass alle Fahrstreifen eines Querschnittes gleichzeitig betroffen sind und völliger Stillstand herrscht. Bezogen auf die Netzlängenanteile der untersuchten Autobahnmeistereien sind dreistreifige Strreckenabschnitte weniger oft von völligem Stillstand betroffen als zweistreifige Richtungsfahrbahnen. Ungefähr die Hälfte aller Störungen haben eine Dauer zwischen 2 und 6 Stunden, die Störungen der verbleibenden Hälfte dauern zu ungefähr gleichen Teilen kürzer als 2, bzw. länger als 6 Stunden. Die Hälfte der winterlichen Störungen haben räumliche Ausdehnungen von mehr als 10 Kilometern. 46 Prozent der Störungen sind zwischen 2 und 10 Kilometern lang, nur 4 Prozent der Störungen sind kürzer als 2 Kilometer.

Strrecken mit grossen ($> 4\%$) und mässigen (2 bis 4%) Längsneigungen sind überdurchschnittlich häufig von winterlich bedingten Störungen betroffen, dies gilt für Steigungs- und Gefällestrrecken gleichermaßen. Allerdings sind die Netzanteile mit den genannten Längsneignungsverhältnissen bei Übertragung auf das gesamte BAB-Netz eher von untergeordneter Bedeutung. Fast 90 Prozent der von winterlich bedingten Störungen betroffenen Strreckenabschnitte können verkehrlich als hochbelastet eingestuft werden. Besonders häufig treten die Störungen in den späten Nacht- bzw. den frühen Morgenstunden auf, zusätzlich auch in den frühen Abendstunden (Verkehrsspitzen). Werden die Störungen in einer Klassifikation ihrer Vermeidbarkeit bewertet, ergibt sich, dass nur 18 Prozent der Störungen vermeidbar sind, aber über 80 Prozent unvermeidbar bleiben. Für die Abschätzung einer Stauerwartung in Abhängigkeit von negativen Einflüssen (Wetter und Verkehr) und von Wirksamkeit des Wetter- und Winterdienstes wurde ein Schaubild entwickelt. Mit diesem kann abgeschätzt werden, dass die Stauerwartung schon bei kleinsten Einflüssen durch Wetter und Verkehr hoch ist.

Als weitere Ergebnisse der Arbeit liegen Kenntnisse über den **Zeitmehrbedarf** vor, der den Verkehrsteilnehmern bei winterlichen Fahrbahnverhältnissen entsteht. Für den Pkw-Verkehr ist festzustellen, dass der Zeitmehrbedarf aus winterlich bedingten Störungen den Zeitmehrbedarf bei normalen winterlichen Witterungszuständen um das zwei- bis fünffache übertrifft: sind für 85% des BAB-Netzes unter „normalen“ winterlichen Witterungsbedingungen und einen geschätzten Ge-

schwindigkeitsniveau von $V \approx 100$ km/h (mittlere Pkw-Geschwindigkeiten auf BAB in den Wintermonaten nach HEIDEMANN / WIMBER [1994]) je Stunde des Winters rd. 15.000 Pkw-Fahrzeugstunden Zeitmehrbedarf zu erwarten, sind es infolge von Störungen bundesweit in einem vergleichsweise milden Winter (1997/98) bereits annähernd 32.000 Fahrzeugstunden, in Wintern mit ausgeprägter Winterstrenge zwischen 54.000 und 75.000 Fahrzeugstunden. Dies gilt sowohl für winterliche Werk- als auch für winterliche Sonn- und Feiertage gleichermassen. Für den Güterverkehr trifft obige Aussage zum Zeitmehrbedarf des Pkw-Verkehrs noch ausgeprägter zu. Der Zeitmehrbedarf aus winterlich bedingten Störungen liegt um ein Mehrfaches über dem Zeitmehrbedarf bei Winterwitterung sonst (bundesweit zwei- bis fünffacher Zeitmehrbedarf des GV durch Störungen an Werktagen, an Sonn- und Feiertagen sogar vier- bis neunfach grösserer Zeitmehrbedarf durch Störungen als durch „normale“ winterliche Witterungszustände).

Werden bei der Betrachtung des Zeitmehrbedarfs des Güterverkehrs die Lkw-Fahrten der räumlich-zeitlichen Messungen mit den lokalen Querschnittsmessungen verglichen, so decken sich die Ergebnisse nahezu. So wird für 85% des BAB-Netzes ein Zeitmehrbedarf von rd. 1.900 Fahrzeugstunden je Winterstunde berechnet. Die Hochrechnung des generellen Zeitmehrbedarfs der unter Winterwitterung stattfindenden Lkw-Fahrten ergibt rd. 3.900 Fahrzeugstunden je Winterstunde bundesweit. Beide Zahlen liegen in der gleichen Grösse und können somit - da sie auf sehr unterschiedliche Weise ermittelt wurden - als gegeneinander abgesichert eingeschätzt werden. Wird demgegenüber der Zeitmehrbedarf der unter „starkem“ Wintereinfluss durchgeführten Fahrten der räumlich-zeitlichen Messungen berechnet, liegt dieser über dem Wert aus der Erfassung und Hochrechnung des Zeitbedarfs aus winterlich bedingten Störungen. Hier stehen für den selben Winter (1997/98) rd. 26.000 Fahrzeugstunden (Berechnung aus Lkw-Fahrten) 5.600 Fahrzeugstunden (Berechnung mit Staumodell) gegenüber.

Es zeigt sich jedoch in beiden - wie auch in den anderen oben aufgeführten - Werten, dass der Zeitmehrbedarf beträchtliche Ausmasse annehmen kann. Wird der Zeitmehrbedarf monetarisiert, lassen sich Zeitkosten für die Verkehrsteilnehmer durch Winterwitterung berechnen. Da es wegen sich verändernder Kostensätze und der damit verbundenen Einbusse an Aktualität nicht Ziel dieser Arbeit war, eine Berechnung der Straßennutzerkosten durchzuführen, wird hier auf einen Exkurs der Arbeit im Anhang verwiesen, wo ein Verfahren zur Berechnung der Zeitkosten vorgestellt wird. Eine Monetarisierung des Zeitmehrbedarfs wurde ausserdem vom Verfasser dieser Arbeit im Rahmen des Forschungsprojektes „Vermeidung glättebedingter Staus durch Massnahmen des Straßenwinterdienstes“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen durchgeführt.

Das grösste Potenzial zur Verbesserung des Verkehrsablaufs im Winter liegt somit in der Vermeidung von Störungen; eng damit verknüpft ist aber auch die Aufrechterhaltung der gewünschten Reisegeschwindigkeiten. Gelingt es, winterlich bedingte Störungen weitestgehend zu vermeiden, kann angenommen werden, dass der Verkehr auch sonst „flüssig läuft“ und die Verkehrsteilnehmer keine grossen Zeitverluste erleiden. Zur **Verbesserung des Verkehrsablaufs** auf Autobahnen im Winter wurden in der Arbeit daher Empfehlungen erarbeitet, die sich daher auf Empfehlungen zur Steigerung der Wirksamkeit des Straßenwinterdienstes beschränken. Daneben sind aber auch grundlegende Empfehlungen zur Verbesserung des Verkehrsablaufes auf Autobahnen im Winter denkbar, die die Informationstechnologie, die Verkehrstechnik, die Straßenplanung, den Straßenentwurf und das Straßenverkehrsrecht betreffen. Diese lassen sich jedoch nicht zwingend aus den Untersuchungsergebnissen ableiten und werden daher nicht näher ausgeführt.

Innerhalb der Empfehlungen lassen sich folgende Einzelmassnahmen (ohne Prioritätenreihung) vorschlagen:

- Änderung des „Anforderungsniveau für den Winterdienst“ [BMV 1979] in ein „Europäisches Anforderungsniveau für die Winterdienste“ und Präzisierung des „Massnahmenkataloges Straßenunterhaltung und Betrieb: Optimierung von Einsatzverfahren - Empfehlungen für die Organisation des Winterdienstes bei Autobahn- und Straßenmeistereien (MK 6 a)“ [BMV 1993].
- Intensivierte Streueinsätze kritischer Streckenabschnitte, vordringliche winterdienstliche Betreuung der Anbindungen der Autobahnen und ihrer Zubringerstrecken, verstärkte Kooperation zwischen Straßen- und Autobahnmeistereien (Zusammenarbeit untereinander, an Länder- bzw. nationalen Grenzen), Überprüfung der Situation und Neuanlage von Betriebsumfahrten.
- Steigerung der Wirksamkeit des Winterdienstes durch modernste Fahrzeug- und Gerätetechnik, EDV-gestützte Routenoptimierungen, Verkürzung der Ladevorgänge, Einsatz von Fremdunternehmen, Ausstattung der Fahrzeuge der Autobahnmeister mit Blaulicht und Martinshorn für kritische Situationen, verbesserter Sprechfunk zwischen Meistereien und Einsatzfahrzeugen.
- Weiterentwicklung und Ausbau des Straßenzustands- und Wetter-Informationssystems (SWIS) der Straßen- und Verkehrsverwaltungen und des Deutschen Wetterdienstes, Umordnung ungünstiger Klimagebiete und Vorhersageräume unter Berücksichtigung der Organisation des Winterdienstes, Einführung von streckenbezogenen Prognosen, Aufbau eines europäischen Straßenzustands- und Wetter-Informationssystems.
- Langfristiger Ausbau von Verkehrsbeeinflussungsanlagen mit modernsten Telematiktechniken zur Steuerung eines optimierten Verkehrsflusses auch bei winterlichen Witterungsbedingungen, Fahrstreifensignalisierungen zur bestmöglichen Unterhaltung des Streckennetzes durch den Winterdienst und Regelung der Fahrgeschwindigkeiten bei winterlichen Fahrbahnzuständen.

Aufbauend auf den Ergebnissen können weitere Untersuchungen mit dem Ziel geführt werden, die Kapazität von Autobahnstrecken im Winter zu bestimmen. Hierfür wurde in der Arbeit ein methodischer Ansatz erarbeitet. Ferner könnte der bislang unbekannte und erhöhte Aufwand des Winterdienstes zur Vermeidung winterlich bedingter Störungen bzw. zur Gewährleistung des Verkehrsflusses genau monetarisiert werden. Erst wenn dieser in seinen Einzelheiten bekannt ist, kann der Zeitmehrbedarf, der den Verkehrsteilnehmern bei Winterwitterung entsteht, genau eingeordnet werden. In diesem Zusammenhang wird dann auch eine volkswirtschaftliche Bewertung des Winterdienstes möglich.

Weiterer Untersuchungsbedarf wird in den Auswirkungen intensivierter Streueinsätze kritischer Abschnitte auf den Verkehrsfluss gesehen. Da diese Massnahme vermutlich nur langfristig umgesetzt werden kann, sind Untersuchungen erst in den nächsten Jahrzehnten zu erwarten. Gleiches gilt für die Effekte eines europäischen Anforderungsniveaus an den Ländergrenzen.