

## Problematik präventiver Schaltungen von Streckenbeeinflussungsanlagen

FA 3.321

Forschungsstelle: Technische Universität München, Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung (Prof. Dr./UCB H. Keller) / Universität der Bundeswehr München, Institut für Arbeitswissenschaft (Prof. Dr. B. Färber)

Bearbeiter: Steinhoff, Ch. / Kates, R. / Keller, H. / Färber, Be. / Färber, Br.

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

Abschluss: November 2001

Analyse sollte objektive und quantitative Rückschlüsse auf die Reaktion des Verkehrs bei unterschiedlichen präventiven Schaltkombinationen liefern. Für eine objektive Analyse dieser Systemantwort musste insbesondere eine geeignete statistische Vorgehensweise entwickelt werden. Die empirische Sozialforschung mit Laboruntersuchungen und Befragungen im Feld diente dazu, Beweggründe für das Verhalten der Fahrer zu erfassen. In einem interdisziplinären Untersuchungsansatz sollten diese beiden Erfassungsmethoden verknüpft werden, um begründete Verbesserungspotenziale im Hinblick auf präventive Strategien zu identifizieren und schließlich einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur besseren Auslastung der Verkehrsanlagen zu leisten.

### 1. Aufgabenstellung

Bei präventiven Schaltungen (80, 100, 120 km/h) in Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) auf Autobahnen ist in der Regel die Begründung der Geschwindigkeitsbeschränkung für den Fahrer nicht unmittelbar nachvollziehbar und gerade im Erfolgsfall nicht bestätigt, wenn die Schaltung eine merkliche Störung im Verkehrsablauf verhindern konnte. Als Ausgangspunkt der Untersuchungen standen daher Fragestellungen zur Akzeptanz und Wirksamkeit präventiver Schaltungen im Vordergrund. Die Wirksamkeit einer Beeinflussungsstrategie äußert sich hierbei nicht nur im Geschwindigkeitsniveau, sondern in Maßen der Harmonisierung und in anderen Sicherheitsmerkmalen wie dem Abstandsverhalten. Es fehlte jedoch bisher an Untersuchungen und Kriterien zur Erfassung der Wirksamkeit einer SBA, welche den Einfluss verzerrender Störfaktoren ausreichend berücksichtigen. Dieses Defizit galt bisher insbesondere für präventive Schaltungen.

Ziel des Forschungsauftrags war die Entwicklung und Analyse geeigneter methodischer Ansätze, um die Wirksamkeit präventiver Schaltungen empirisch zu erfassen und somit eine zuverlässige Entscheidungsbasis zu liefern. Eine verkehrstechnische

### 2. Untersuchungsmethodik

Im strengen Sinne versteht man unter einer präventiven Maßnahme die Aktivierung einer Schaltung (i.d.R. mit Anzeige 80, 100, 120 km/h) zeitlich vor dem erwarteten Eintritt einer Störung im Verkehrsablauf mit dem Ziel, einer merklichen Störung vorzubeugen. Aus bisherigen Untersuchungen ist bekannt, dass ein Teil der Störungen durch Harmonisierung des Verkehrsablaufs in der Tat verhindert werden kann. Dieser enge Begriff präventiver Maßnahmen setzt jedoch als ersten Schritt die Erkennung einer drohenden Störung, d.h. eine Störungswahrscheinlichkeit, voraus. In diesem Forschungsvorhaben wurde ein breiterer Anwendungskontext von Schaltungen mit präventivem Charakter untersucht. Dazu gehörte auch die Identifikation von Umständen, bei denen Schaltungen mit Geschwindigkeitsvorgaben von 80–120 km/h im Hinblick auf die Verkehrssicherheit sinnvoll sind, obwohl streng genommen keine erhöhte Störungswahrscheinlichkeit erkannt wird; als Sammelbegriff für die Erkennung solcher Umstände wird hier die Bezeichnung Situationserkennung verwendet. Auftragsgemäß wurden Schaltungen auf Grund sichtbar eingetretener Ereignisse vom präventiven Begriff hier ausgeklammert. Dazu gehören Schaltungen auf Grund der Detektion einer bereits eingetretenen Störung wegen schlechter

Witterung (Nässe, Glätte, Nebel) oder wegen Bauarbeiten. Dennoch war es häufig für ein erweitertes Verständnis zweckmäßig, auch solche Anzeigen in die systematische Datenanalyse mit einzubeziehen.

Nicht nur die Anzeigen auf den Wechselverkehrszeichen (WVZ), sondern auch andere Begleitfaktoren des Verkehrskontextes (z. B. die Verkehrsstärke) beeinflussen die Geschwindigkeitswahl. Ziel der empirischen Akzeptanzuntersuchungen war daher aufzuzeigen, in welchem Ausmaß eine Änderung im Geschwindigkeitswahlverhalten allein auf Schaltungen der WVZ insbesondere im präventiven Bereich zurückgeführt werden kann. Das Geschwindigkeitswahlverhalten der Verkehrsteilnehmer hat hierbei mehrere beobachtbare Aspekte. Als Zielgröße wurde der Mittelwert der Pkw-Geschwindigkeiten in einer Minute betrachtet, die in der Fachliteratur häufig als Weisungsakzeptanz der Verkehrsteilnehmer bezeichnet wird. Die Erfassung dieser Eigenschaft mit verfügbaren Verkehrs- und Schaltdaten ist i. d. R. nicht gerade einfach. Bisherige Versuche, die Weisungsakzeptanz empirisch zu untersuchen, täuschten auf Grund einer unzureichenden statistischen Behandlung verzerrender Störfaktoren wie z. B. des Verkehrskontextes meistens eine zu hohe Akzeptanz vor. Zu diesem Zweck sollten die üblichen Fachbegriffe ("Weisungsakzeptanz", "Befolgungsgrad", mit denen das Fahrerverhalten bisher charakterisiert wurde, präzisiert, differenziert und ergänzt werden.

Um mit den verfügbaren (aggregierten) Daten die Akzeptanz als eine Systemantwort in Abhängigkeit von Schaltkombinationen zu erfassen, zeigte es sich als sinnvoll, einen kontextbezogenen Vergleich der Geschwindigkeitsniveaus mit einem für den jeweiligen Messquerschnitt geeigneten Referenzfall ("keine Schaltung") durchzuführen. Hierfür wurden zwei statistische Modellansätze entwickelt und angewandt. Demgemäß lässt sich mittels eines Regressionsverfahrens neben der absoluten Akzeptanz ein besonders aussagekräftiges Merkmal, die relative Akzeptanz, definieren. Sie bringt die tatsächliche mittlere Wirkung der Schaltung unter den gegebenen Bedingungen (Kontexten) im Hinblick auf das Geschwindigkeitsniveau zum Ausdruck. Darüber hinaus konnte mit einem stochastischen Transferfunktionsmodell neben der Verkehrsstärke am Messquerschnitt auch ein Maß für die Geschwindigkeit vorausfahrender Fahrzeuge als Begleitfaktor berücksichtigt werden. Diese Methode erlaubt eine Erfassung der relativen Akzeptanz auch in solchen Datensätzen, bei denen Rückstauungen häufig vorkommen.

Zur vertieften Erfassung der Wirksamkeit präventiver Schaltungen auf die Verkehrssicherheit wurden anhand von Einzelfahrzeugdaten (nicht aggregiert) folgende verkehrstechnischen Zielgrößen definiert und in Abhängigkeit von der Schaltung untersucht:

- ein Harmonisierungsmaß: die Standardabweichung der Einzelgeschwindigkeiten innerhalb festgelegter (30–Sekunden) Intervalle,
- eine durch Spektralanalyse bestimmte Schwankungscharakteristik der Einzelfahrzeugdaten, welche die Harmonisierung noch in Abhängigkeit vom betrachteten Zeitintervall charakterisiert,
- der Anteil gefährlicher Auffahrzeiten (deutsche Bezeichnung für time to collision),
- der Anteil gefährlicher Zeitlücken.

Für jede Zielgröße wurden ebenfalls entsprechende Begleitfaktoren des Verkehrskontextes definiert, um den Einfluss verzerrender Störfaktoren auszuklammern.

Die verkehrstechnischen Untersuchungen stützten sich auf eine Datenbasis bestehend aus aggregierten Daten von Schleifen-detektoren in Minutenintervallen sowie Unterlagen zum Verkehrsablauf (Schaltprogramme, Stauereignisse, etc.) für die Testfelder Südbayern (SBA A8/Ost), Landschaftsverband Westfalen-Lippe (SBA A1) bzw. Landschaftsverband Rheinland (SBA A3) über einen Zeitraum von drei Monaten. Zusätzlich wurden

für einen Monat Einzelfahrzeugdaten (nicht aggregiert) an fünf ausgewählten Messstellen im Bereich der SBA A8/Ost erhoben, welche die Analyse verkehrssicherheitsrelevanter Merkmale erlauben sollte. Allerdings waren für die Analyse der Einzelfahrzeugdaten die Datensätze von nur zwei Messstellen plausibel.

Mechanismen der Wirkungsweise der Streckenbeeinflussung auf den Verkehrsteilnehmer wurden durch Laboruntersuchungen zu WVZ und Vor-Ort-Befragung ermittelt und mit den verkehrstechnischen Analysen in Verbindung gebracht. Die Laboruntersuchungen beinhalteten Fragestellungen zur Verständlichkeit, Wahrnehmbarkeit sowie Akzeptanz von WVZ, während die Vor-Ort-Befragung die grundsätzliche Einstellung der Verkehrsteilnehmer zur Streckenbeeinflussung in Erfahrung brachte. Deren Ergebnisse sind ausführlich in [2] beschrieben.

### 3. Untersuchungsergebnisse

Aus den Akzeptanzuntersuchungen in allen drei untersuchten Testfeldern ging hervor, dass sich die durch Streckenbeeinflussung bewirkte Änderung des Geschwindigkeitsniveaus der Pkw, d.h. nach Ausschaltung der Einflüsse wie der Verkehrsstärke, als positiv erwies, aber dennoch gering ist. Ein typischer Wert beträgt durchschnittlich 2 km/h Verringerung des mittleren Geschwindigkeitsniveaus auf 10 km/h Verringerung der angezeigten und damit zulässigen Geschwindigkeit. Diese Aussage gilt nicht nur für präventive Schaltungen. Im Bereich des Testfeldes SBA A3 waren die absolute sowie die relative Akzeptanz bescheiden. Als Ursache für die geringe Akzeptanz in diesem Testfeld wird die dort geschaltete sog. Grundversorgung gesehen, die Gewöhnungseffekte beim Fahrer hervorruft. Auf der SBA A8/Ost traten häufig bei präventiven Schaltungen sowohl Geschwindigkeitsüberschreitungen als auch -unterschreitungen auf. Die Unterschreitungen dürfen auf keinen Fall als eine bessere Akzeptanz der Schaltungen interpretiert werden. Dennoch waren eindeutige Hinweise auf eine bessere relative Akzeptanz vorhanden. Als eine der möglichen Ursachen werden die in den Schilderbrücken der SBA A8/Ost vorhandenen Einrichtungen zur Radarüberwachung gesehen.

Neben der Wirksamkeit der Geschwindigkeitsbeschränkungen interessierte auch der Einfluss der zusätzlichen Gefahr- und Vorschriftzeichen auf das Fahrverhalten. Bei Schaltung eines Lkw-Überholverbotes und gleichzeitiger Geschwindigkeitsbeschränkung wurde in einigen Fällen die Geschwindigkeit der Pkw deutlicher als im Vergleich zur Schaltung ohne Lkw-Überholverbot verringert. Es gibt isolierte Hinweise für eine bessere relative Akzeptanz, wenn Geschwindigkeitsbeschränkungen von bestimmten Gefahr- und Zusatzzeichen begleitet werden.

Ein Zusammenhang zwischen der Abnahme des Beeinflussungseffekts im Geschwindigkeitsniveau und zunehmendem Abstand von der Schilderbrücke wurde untersucht. Die Analyse mit dem Transferfunktionsmodell ergab für den Anzeigequerschnitt (AQ 37) der SBA A3 einen Trend zur wirksameren Beeinflussung bei einem Abstand von 500 m vom Anzeigequerschnitt. Dennoch lässt sich hiervon kein Optimierungspotenzial durch engmaschigere Schilderbrücken ableiten.

In Verbindung mit den sozialwissenschaftlichen Erkenntnissen ist die Schlussfolgerung nahe liegend, dass die gebotenen Geschwindigkeitsbeschränkungen in den untersuchten Testfeldern verletzt werden, obwohl ihre Bedeutung ausreichend erkennbar ist.

Die Analyse der Einzelfahrzeugdaten im Bereich der SBA A8/Ost ergab für alle Fahrstreifen und Messquerschnitte eine deutliche Verringerung des Harmonisierungsmaßes etwa um ein Drittel bei allen untersuchten präventiven Schaltungen. Diese Verringerung gilt nicht für Ausgangssituationen mit sehr hohem oder sehr niedrigem Geschwindigkeitsniveau. Die Schaltung 100 km/h mit Lkw-Überholverbot bewirkt auf beiden Überholspuren eine sehr

effektive Harmonisierung, vor allem wenn die mittlere Geschwindigkeit bereits unter 110 km/h liegt.

Ein noch deutlicheres Bild geht aus der Spektralanalyse hervor. Die Geschwindigkeitsbeschränkung bewirkt eine deutliche Verringerung der Schwankungscharakteristik für alle Zeitintervalle bis 30 Sekunden. Die Resultate lassen auf einen gleichmäßigeren Verkehrsfluss bzw. eine erhöhte Aufmerksamkeit in Längsrichtung schließen.

Im mittleren Bereich der Geschwindigkeiten wurden signifikante Verringerungen des Anteils gefährlicher Auffahrzeiten (< 10 s) gegenüber dem Referenzfall ("keine Schaltung") bei allen untersuchten präventiven Strategien festgestellt. Das Lkw-Überholverbot geht bei gleicher Geschwindigkeitsbeschränkung mit einer weiteren Verringerung des Anteils gefährlicher Auffahrzeiten (TTC) einher. Als Haupteffekt der betrachteten präventiven Schaltungen zeigen die Verringerungen der gefährlichen Auffahrzeiten signifikante Merkmale für eine Verbesserung der Verkehrssicherheit. Als Nebeneffekt ist beobachtbar, dass die nach wie vor schnellen Fahrer riskanter fahren.

Die sozialwissenschaftlichen Untersuchungen [3] haben ergeben:

- Die Anzeigen sind den meisten Fahrern in einer vertretbaren Zeit (~ 2 Sek.) fehlerfrei verständlich.
- Begründungen durch Gefahr- und Zusatzzeichen werden von der Mehrheit der Fahrer gewünscht.
- Verbindlichkeit und Gültigkeit der Schilder bis zur nächsten Anzeige/Beschilderung ist bekannt.
- Während der generelle Nutzen von SBA hinreichend bekannt ist, sollte Detailwissen öffentlich vermittelt werden.

## 4. Folgerungen für die Praxis

Unter Nutzung der hier neu eingeführten statistischen Methodik ist es möglich, die Wirksamkeit der Schaltungen unter Berücksichtigung verzerrender Störfaktoren auch im laufenden Betrieb zu erfassen. Somit können langfristige Trends, z. B. eine Abnahme der Akzeptanz durch die Verkehrsteilnehmer, schneller als bisher erkannt werden.

Im Hinblick auf die Harmonisierung des Verkehrsablaufs sind die implementierten präventiven Schaltungen generell bei tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeitsniveaus zwischen etwa 90 km/h und 130 km/h äußerst positiv wirksam. Die Schaltung 100 km/h mit Lkw-Überholverbot zeigt in einigen Indikatoren die höchste Wirkung. Hierbei sind Strategien, die Störungen nachweislich vorbeugen können [3], ungeachtet einer unscharfen Störungswahrscheinlichkeit als besonders hochwertig zu sehen – auch die Anzeige 80 km/h mit Lkw-Überholverbot. Die Schaltung 120 km/h wegen Unruhe im Verkehr ist ungeachtet der bekannten niedrigen Erkennungsgüte drohender Störungen als Situationserkennung positiv zu sehen. Zu prüfen wäre, ob ein zusätzliches Lkw-Überholverbot die harmonisierende Wirkung von Unruhe im Verkehr noch erhöhen könnte. Das Funktionsprogramm Harmonisierung der Geschwindigkeit mit Ein- und Ausschaltgrenzwerten wie es die MARZ (1999) vorgibt, führt häufig zur Schaltung, ohne dass ein Mehrwert im Hinblick auf Vorbeugung von Störungen nachgewiesen worden wäre. Eine Evaluierung des Funktionsprogramms Harmonisierung der Geschwindigkeit unter dem Gesichtspunkt Situationserkennung bzw. Verkehrssicherheit wird empfohlen, wofür ein geeignetes Gütekriterium zu definieren ist.

Bezüglich räumlicher Aspekte, etwa wie weit vor einem Ereignis geschaltet wird, wurden im Testfeld SBA A1 Hinweise für Gewöhnungseffekte auf Grund von Geschwindigkeitstrichtern bei häufig wiederkehrendem Stau erhalten. Täglich verwendete weiträumige Geschwindigkeitstrichter werden vom ortskundigen Fahrer als Widerspruch zum eigenen Nutzeroptimum empfunden, daher wird als Folge die Akzeptanz für den Fall beein-

trächtigt werden, dass eine tatsächliche Störung in unmittelbarer Nähe bevorsteht.

Allgemeine Empfehlungen zu Veränderungen der Schaltstrategien sind folgende:

- Eine deutlichere Abgrenzung zwischen Warnung und Prävention ist dringend erforderlich. Detektionsverfahren mit hervorragender Erkennungsgüte (Kalmanfilter nach CREMER, Fuzzy/INFORM) sollen Schaltungen mit eindeutiger Warnwirkung (etwa 60 km/h und Stau) nach sich ziehen.
- Die alleinige Nutzung eines Fundamentaldiagramms ist zur Einstellung der Schwellenwerte eines Prognoseverfahrens nicht geeignet. Die Verbesserung der präventiven Strategien sollte daher nicht etwa in einer aktualisierten Verschiebung der Schwellenwerte des Verfahrens Harmonisierung der Geschwindigkeit (MARZ, 1999) gesehen werden.
- Grundsätzlich sollte die Erkennungsgüte, d.h. die gleichzeitige Würdigung der Erkennungsrate sowie Fehleralarmrate, wie in [1] zur Eichung des Detektionsverfahrens herangezogen werden.
- Ohne geeignete Gütekriterien der Situationserkennung haben Empfehlungen zu Schwellenwerten eines Harmonisierungsprogramms keine objektive Basis. Für die Entwicklung solcher Gütekriterien ist ein tieferes Verständnis von Sicherheitsmerkmalen im Verkehr Voraussetzung.
- Es sollten konkurrierende Verfahren innerhalb einer SBA, die auch Störungen vorbeugen können, schärfer eingestellt werden, damit sie sich gegebenenfalls im Querabgleich auch durchsetzen können.
- Es ist ein Ausschaltkriterium mit einer verstärkten Hysterese zu prüfen, damit die Beschränkung z. B. wegen Unruhe im Verkehr nicht zu häufig ein- und ausgeschaltet wird.
- Ein Ersatz der bisher festen Reihenfolge der Prioritäten für den Querabgleich durch intelligente Verfahren sollte im Hinblick auf die Gesamtgüte der Anlagen empirisch untersucht werden.
- Deutliche Widersprüche jeglicher Art in den Anzeigen sind zu vermeiden, insbesondere bei Schaltungen wegen Nässe. Sie zeigen derzeit häufig eine kontraproduktive Wirkung und beeinträchtigen die Akzeptanz.

Ein gravierendes Problem hinsichtlich der Wirksamkeit von Schaltungen wird bei Anlagen mit auftretenden Gewöhnungseffekten z.B. infolge der sog. Grundversorgung (SBA A3) bzw. häufigem Stautrichter (SBA A1) gesehen. Überschreitungen der Anzeige um 40 km/h oder mehr sind gefährlich, auch wenn ohne Anzeige das Geschwindigkeitsniveau noch höher gewesen wäre.

Die Vor-Ort-Befragung [2] zeigte Verbesserungspotenzial für die Akzeptanz von Streckenbeeinflussungsanlagen durch geeignete Aufklärung.

Trotz einiger Anregungen aus den sozialwissenschaftlichen Untersuchungen zeigt sich insgesamt wenig Verbesserungspotenzial in einer Erweiterung der Gefahr- und Zusatzzeichen. Die bestehenden Schilder erfüllen alle Kriterien für eine gute Wahrnehmung. Vorschläge zur Betonung der Schilder (blinken usw.) in gewissen Situationen werden auf Grund des gebotenen einheitlichen Erscheinungsbildes und der Abwertung der übrigen Situationen kritisch betrachtet. Eine Verringerung des Abstandes der Anzeigequerschnitte ist eine teure Maßnahme. Dagegen sprechen hohe Bau- und Instandhaltungskosten. Andererseits sind die angezeigten Informationen bei zu großen Entfernungen dem Fahrer weniger bewusst. Es gab zwar isolierte Hinweise für eine Abnahme der relativen Akzeptanz mit zunehmendem Abstand vom AQ; für eine Empfehlung hinsichtlich Änderungen der Infrastruktur reichen diese Hinweise jedoch nicht aus.

Investitionen in die Erfassung der Verkehrsdaten und in die intelligente sowie robuste Veredelung dieser Daten zu einer Verkehrslage (Störungserkennung, Situationserkennung usw.) werden als höchst nutzbringend erachtet. Diese Schlussfolgerung

geht aus beiden Untersuchungsansätzen hervor. Denn auf der sozialwissenschaftlichen Seite wurde als eindeutige Schwäche die Glaubwürdigkeit der Schaltungen erkannt. Auf der verkehrstechnischen Seite ist bekannt, dass die Erkennungsgüte mancher Verfahren mangelhaft ist; die Schaltungen wurden nachweislich oft missachtet. Die Güte hochwertiger Erkennungsverfahren hängt oft sehr empfindlich von der Datenqualität ab. Es wird daher eine laufende für die Betreiber transparente Erfassung der Qualität der Verkehrsdaten empfohlen. Hierfür sollten Gütekriterien spezifiziert werden, die sich an Anforderungen der Erkennungsverfahren orientieren. Systemlieferanten wie Betreiber der Anlagen sind zum Erhalt der Datenqualität zu verpflichten.

Folgende Instrumentarien für die (auch laufende) Überprüfung und Optimierung der Erkennungsgüte der Steuerungsverfahren von SBA werden vorgeschlagen:

- laufende Archivierung aller Schaltwünsche, nicht nur Schaltgründe, zusammen mit den Verkehrsdaten. Vertragliche Verpflichtung von Systemlieferanten zur Unterstützung der unabhängigen Bewertung (offene Schnittstellen, bekannte Datenformate) sowie der Datenqualität,
- konsequente Verwendung von geeigneten Bewertungskriterien für die Erkennungsgüte (Erkennungs-, Fehlerrate) aller Verfahren wie in [1] evaluiert,
- Erfassung der Vorbeugung von Störungen durch Vergleich: offener/geschlossener Regelkreis.

Eine verbesserte Ahndung grober Überschreitungen präventiver Beschränkungen erscheint erforderlich. Dabei ist zu prüfen, ob es mit der Gesetzgebung und den polizeilichen Aufgaben vereinbar ist, neben der bloßen Geschwindigkeitsüberschreitung differenziertere Kriterien der Verkehrssicherheit für die Ahndung anzuwenden (zu hohe Geschwindigkeiten gekoppelt mit zu geringen Sicherheitsabständen).

Es wird eine Änderung der Ausschreibungspraxis angeregt, mit dem Ziel, nicht die Verfahren, sondern objektive Zielgrößen vorzugeben, die es zu optimieren gilt, um Raum für innovative Entwicklungen zu lassen. Ferner sollten die Leistungen der Systemlieferanten eine bessere Wartung der Datenversorgung und Unterstützung der laufenden Bewertung und Optimierung der Anlagen hinsichtlich anerkannter Gütekriterien enthalten. Letztlich wird dazu dem Baulastträger der Online-Einsatz eines Prüfverfahrens wie in [1] beschrieben empfohlen, das die Arbeitsweise der SBA hinsichtlich der gesetzten Ziele laufend validieren kann.

## Schrifttum

- [1] Archer, J. (2000): Developing the potential of micro-simulation modeling for traffic safety assessment. Proceedings of the 13th ICTC workshop, intelligent Transport Systems
- Autobahndirektion Südbayern (1998): Erweiterung des Verkehrsleitsystems auf der A99 und A8/Ost
- Balz, W., Ermer, P. (1998): Feldversuche zur Bestimmung der Wirkungen verschiedener Kombinationen von WVZ-Anzeigen, Straßenverkehrstechnik 12/98
- Balz, W., Zhu, Y. (1994): Nebelwarnsystem A8 Hohenstadt-Riedheim – Wirkungsanalyse. Im Auftrag des Landesamtes für Straßenwesen Baden Württemberg, Stuttgart
- [2] Bermann, E. (2001): Analyse präventiver Schaltungen bei Streckenbeeinflussungsanlagen. Diplomarbeit am Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München
- Box, G., Jenkins, G. und Reinsel (1994): Time Series Analysis: Forecasting and Control, Prentice-Hall
- Bundesanstalt für Straßenwesen (1998): Betrieb von Verkehrsbeeinflussungsanlagen. Erfahrungsaustausch, Workshop am 31. 3. 1999, Schlussbericht. Themenblock A: Steuerung und Akzeptanz von Verkehrsbeeinflussung
- Clarke et al. (1998): Traffic Optimisation by the Integration of Information and Control, Levels of Quality of Service: Experiments, Results TROPIC D08.2
- Connolly, I., Aberg, I. (1993): Some contagion models of speeding. Prevention 25(1),57–66
- Dudek, C. L. (1991): Guidelines for the use of changeable message signs. Report number FHWA-TS-90-043. Federal Highway Administration, US Department of Transport. Available from National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22151
- [3] Färber, B., Färber, Br. (2000): Akzeptanz von Schildern einer variablen SBA. Zwischenbericht im FE 3.321 (BAST), Universität der Bundeswehr München, Institut für Arbeitswissenschaft
- Ferrari, P. (1988): The Reliability of the Motorway Transport System. Vol. 25A, No. 6, p. 419
- Ferrari, P. (1991): The Control of Motorway Reliability, Transportation Research, Vol. 25A, No. 6, p. 419–427
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1982): Theorie des Verkehrsflusses auf Straßen und deren Anwendung, Köln
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1992): Hinweise zur Verkehrsflussanalyse, Störfallentdeckung und Verkehrsflussprognose für die Verkehrsbeeinflussung in Außerortsbereichen. Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1992): Hinweise für Steuerungsmodelle von Wechselverkehrszeichenanlagen in Außerortsbereichen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit
- Friebolin, L. (1990): Die Akzeptanz von Wechselverkehrszeichen, Verkehrsbeeinflussung; Kolloquium am 25. Januar 1990 in Bonn, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- Golden, R. (1996): Mathematical Methods for Neural Network Analysis and Design, MIT press