

Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen, insbesondere im Hinblick auf Verkehrsablauf und Betrieb

FA 3.326

Forschungsstelle: SSP Consult GmbH, Bergisch Gladbach / Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (VUV) (Prof. Dr. R. Kühne)

Bearbeiter: Pischner, T. / Hangleiter, S. / Lambacher, U. / Trupat, S. / Kühne, R. / Schick, P.

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

Abschluss: Juli 2002

1. Aufgabenstellung

Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) werden hauptsächlich eingesetzt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit mittels Warnung vor Gefahrensituationen und zur besseren Ausnutzung der vorhandenen Kapazität mittels einer Harmonisierung des Verkehrsflusses. Nach bisherigen Einschätzungen können verkehrsabhängige Geschwindigkeitsbeschränkungen auf Grund ihrer verkehrsflussstabilisierenden Wirkung eine Erhöhung des Durchsatzes um 5 bis 10 % im Vergleich zur nicht gesteuerten Situation bewirken. Zum Geschwindigkeitsverhalten lässt sich auf Grund empirischer Analysen feststellen, dass SBA unter hohen Verkehrsbelastungen zu einer Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit von ca. 10 % führen. Empirische Analysen zur Geschwindigkeitsverteilung mit und ohne SBA bestätigen auch den harmonisierenden Effekt situationsabhängiger Geschwindigkeitsbeschränkungen. Mittlerweile liegt eine neuere Untersuchung zum Unfallgeschehen im Bereich von SBA vor, bei der ein Einfluss der Höhe der Verkehrsbelastung auf die Unfallraten untersucht wurde. Es zeigt sich insbesondere im Bereich hoher Verkehrsbelastungen ein signifikantes Reduktionspotenzial durch SBA. Weiterhin wurde eine Methode entwickelt, mit deren Hilfe im Voraus der Sicherheitsgewinn und damit die Nutzenkomponente "Unfallreduktion" einer SBA ermittelt werden kann.

Obwohl nach allen bisher vorliegenden Erkenntnissen ein vielseitiger Nutzen erreicht werden kann, wird bisher bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nur die Unfallreduzierung zur Bewertung herangezogen. Ziele der vorliegenden Untersuchung sind daher die Quantifizierung und Bewertung der monetarisierbaren Nutzenkomponenten Reisezeitgewinne, Gewinne durch Emissionssenkungen und Sicherheitsgewinne sowie die Erarbeitung eines vereinfachten standardisierten Verfahrens, mit dessen Hilfe der zu erwartende Nutzen im Hinblick auf die Verbesserung des Verkehrsablaufs beschrieben und bewertet werden kann.

2. Untersuchungsmethodik

Den Kern der Untersuchung bilden Erhebungen an 9 ausgewählten SBA, um eine große Bandbreite an Anlagen mit unterschiedlichen Aufgaben und Funktionalitäten abzudecken. Bei Abfrage der Daten stellt sich aber heraus, dass nicht für alle Anlagen Minutenwerte vorliegen bzw. die Belastungen nicht bis

in den instabilen Bereich reichen. Auf Basis der Datenverfügbarkeit werden hinsichtlich der Untersuchung folgende Anlagen intensiv berücksichtigt:

- A 99 / A 8 Ost Brunenthal – Bad Aibling (einzelne Referenzquerschnitte) sowie
- A 9 München – Holledau (Referenzabschnitt auf der unbeeinflussten Gegenfahrbahn mit mehreren Messquerschnitten).

Zusätzlich wird die Strecke A 8 Ulm – München zur Gewinnung weiterer Daten von unbeeinflussten Querschnitten herangezogen. Für die Verkehrs- und Umfelddatenerfassung werden auf den Richtungsfahrbahnen jeweils fahstreifenbezogene Daten (Kurzzeitdaten im Ein-Minuten-Intervall) herangezogen. Die Schaltvorgänge der WVZ werden unter Angabe von Datum, Uhrzeit und Bezeichnung des Anzeigequerschnitts unter Angabe des jeweiligen Schaltprogramms und Schaltgrunds in der Datenbank der UZ protokolliert. Bei der Aufbereitung der Messdaten wird ein Zwei-Wochen-Zeitraum herangezogen. Er enthält sowohl Werktage als auch starken Ferienverkehr am Wochenende (bewirkt, dass auch sonst eher schwächer ausgelastete Abschnitte Überlastungen erfahren und somit Aussagen zum Verkehrsfluss an der Leistungsfähigkeitsgrenze gemacht werden können).

Die Ermittlung der Reisezeitgewinne erfolgt zum einen mit den bekannten Verfahren zur Bestimmung der Kapazität der Streckenabschnitte. Zum anderen werden aber auch Harmonisierungs- und Stabilisierungseffekte untersucht. Die Ermittlung der Gewinne von Emissionssenkungen erfolgt mittels bekannter Verfahren. Die Sicherheitsgewinne durch Senkung der Unfallzahlen werden aus der vorliegenden Untersuchung übernommen.

Im ersten Schritt werden für den gesamten Zeitraum "q-v-Diagramme" bzw. "Fundamentaldiagramme" erstellt. Untersuchungen zur Harmonisierung des Verkehrsflusses sollen die Frage klären, ob SBA zu einer Harmonisierung des Verkehrsflusses im Sinne einer gleichmäßigeren Auslastung der Fahstreifen und zu einer gleichmäßigeren Geschwindigkeitsverteilung führen können.

Zur Beantwortung der Frage, ob SBA den Übergang vom stabilen in den instabilen Verkehrszustand vermeiden bzw. verzögern können, muss eine Definition für Verkehrszusammenbrüche gefunden werden. Das gewählte Verfahren definiert Verkehrszusammenbrüche als ein Abfallen der Geschwindigkeit in einem bestimmten Zeitraum Δt um einen Mindestwert Δv .

Die ermittelten Verkehrszusammenbrüche werden in Abhängigkeit der Verkehrsstärke-Klasse angegeben und schließlich auf die Häufigkeit des Vorkommens der Verkehrsstärke-Klassen normiert, um damit die relative Zusammenbruchwahrscheinlichkeit je Verkehrsstärke-Klasse zu berechnen. Durch Anwendung dieser Untersuchung an einer Vielzahl von beeinflussten und unbeeinflussten Querschnitten soll geklärt werden, ob durch Streckenbeeinflussungsanlagen eine Stabilisierung des Verkehrsflusses erreicht werden kann (siehe Bilder 1 und 2 – folgende Seite).

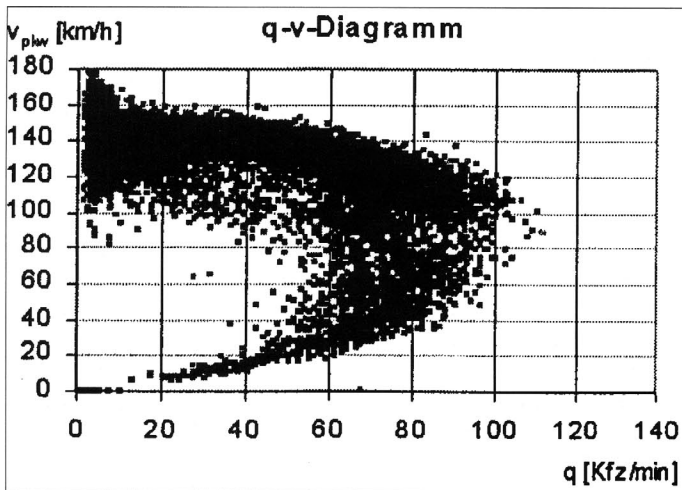


Bild 1: q-v-Diagramm (Stabilisierungswirkung der SBA auf der A 9; MQ 316 – typische Ausprägung bei häufigen Verkehrsüberlastungen verbunden mit instabilen Verkehrszuständen)

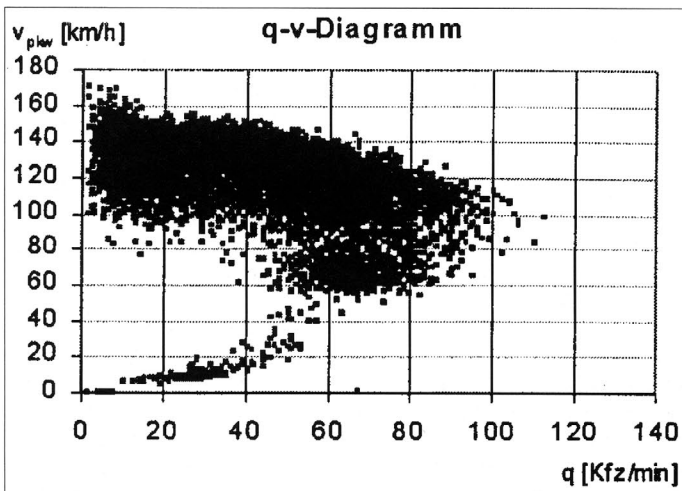


Bild 2: q-v-Diagramm (Stabilisierungswirkung der SBA auf der A 9; MQ 116 – Auftreten von Verkehrsüberlastungen an einem Querschnitt mit SBA: die Punktwolke im Bereich 60–80 km/h deutet auf Besonderheiten im Verkehrsablauf hin)

3. Untersuchungsergebnisse

Nachstehend sind zunächst zusammenfassend die Ergebnisse für die SBA A 9 München – Holvedau dargestellt, da diese für die Ableitung des Untersuchungsergebnisses maßgebend sind. Als Fazit der Untersuchung der maximalen Verkehrsstärken ergibt sich, dass die SBA A 9 nicht zu einer Erhöhung der Kapazität führt. Ein Vergleich zwischen den Mit-SBA- und den Ohne-SBA-Querschnitten zeigt, dass eine deutliche Kapazitätssteigerung durch die SBA nicht erkennbar ist. Der SBA gelingt es allerdings, den Verkehrsfluss zu harmonisieren. Insbesondere gelingt es, eine gleichmäßigere Auslastung der Fahrstreifen zu erzielen (Reduktion des "Linksfahrer-Effektes"). Hinzu kommt außerdem ein höheres Geschwindigkeitsniveau bei mittleren Verkehrsstärken. Die Untersuchung des Stabilisierungseffektes erfolgt über die Betrachtung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeit in den einzelnen Verkehrsstärkeklassen (siehe Beschreibung oben). Zur Gewinnung übertragbarer Aussagen und als Grundlage für ein Bewertungsschema werden die Ergebnisse einzelner Querschnitte zusammengefasst und unter Berücksichtigung der statistischen Aussagefähigkeit nur die Werte ausgewählt, von denen eine genügende Anzahl von Messwerten vorliegen. Als Ergebnisse dieser Ag-

gregation für den Vergleich der Mit-SBA- mit den Ohne-SBA-Querschnitten der A 9 ergeben sich die maßgeblichen Werte für die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit mit und ohne SBA. Der Verkehrsablauf an den Querschnitten mit SBA hat eine geringere Zusammenbruchswahrscheinlichkeit als an den Querschnitten ohne SBA, d. h. er ist deutlich stabiler.

Diese geringere Wahrscheinlichkeit bedeutet, dass der Verkehr bei hohen Verkehrsstärken länger im stabilen Bereich gehalten werden kann. Die teilweise deutlichen Unterschiede im Verkehrsablauf legen eine ausgewählte Detailanalyse zweier vergleichbarer Stauzustände eines beeinflussten mit einem unbeeinflussten Querschnitts nahe. Die Detailuntersuchung zeigt innerhalb des Zeitraumes einen ruhigeren und gleichmäßigeren Verkehrsfluss bei dem Querschnitt mit SBA. Dieser Vergleich kann zwar nicht verallgemeinert werden, die Betrachtung mehrerer Querschnitte und Zeiträume der A 9 liefert jedoch ähnliche Ergebnisse, sodass eine positive Wirkung der SBA als sicher angesehen werden kann.

Aus verschiedenen verkehrlichen, witterungstechnischen bzw. streckengeometrischen Gründen verblieben für Aussagen zur Ableitung von Bewertungsverfahren neben der SBA A 9 vor allem die A 8 / A 99 und die Referenzquerschnitte auf der A 8, auf deren Basis die folgenden Grundaussagen abgeleitet werden konnten, die teilweise auch von den anderen Anlagen "gestützt" werden:

- keine signifikanten Auswirkungen der SBA auf die Kapazität;
- Anhebung des Geschwindigkeitsniveaus im Bereich mittlerer Verkehrsstärken gegenüber unbeeinflussten Abschnitten (Indikator für Zeit- und Betriebskostengewinn);
- Bei Aktivierung der SBA zeigt sich eine deutlich gleichmäßigere Auslastung der Fahrstreifen. Der "Linksfahrereffekt" wird deutlich abgemildert.
- Mit Einrichtung einer SBA geht im Bereich mittlerer und hoher Verkehrsstärken die Zusammenbruchswahrscheinlichkeit deutlich zurück. Durch Aggregation verschiedener Querschnitte ergibt sich eine Tabelle mit deutlich niedrigerer Zusammenbruchswahrscheinlichkeit des Verkehrsflusses bei den Mit-SBA-Querschnitten.
- Detailanalyse zu SBA auf A 9 und A 8/A 99 zeigt den großen Harmonisierungseffekt der beiden Anlagen (bestätigt durch Stichproben an den anderen Anlagen).

Ein Rückgriff auf bestehende Untersuchungen ist wegen fehlender Begleituntersuchungen zu vorhandenen Streckenbeeinflussungsanlagen nicht möglich. Daher blieb es im Rahmen des Vorhabens bei der Nutzung selbst gewonnener Daten und Ansätze.

Die verkehrliche Wirkung einer SBA stellt sich gemäß der Ergebnisse der vorliegenden Auswertungen als eine deutliche Verbesserung der Verkehrsqualität dar, die über eine signifikante Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Verkehrszusammenbrüchen in den oberen Belastungsklassen quantitativ erfasst werden kann. Als Folge dieses Stabilisierungseffektes bei Verkehrszusammenbrüchen kann ein Plateau-Effekt (Anheben der Geschwindigkeitswerte auf ein höheres Niveau) zur Harmonisierung der Geschwindigkeiten bei ca. 60 bis 80 km/h im Übergangsbereich zum instabilen Bereich konstatiert werden. Die Überführung der empirischen Ergebnisse in einen Bewertungsansatz erfolgt in der Zusammenführung dieser beiden Aspekte. Als Input für die Wirkungsberechnung dienen die mittleren Geschwindigkeiten für den stabilen Zustand (Ermittlung mit Hilfe der unveränderten q-v-Funktionen der EWS). Die Wirkungen für den instabilen Zustand können direkt mit den für Stop & Go definierten Wirkungsparemtern der EWS quantifiziert werden. Für jede Stundengruppe wird der

Dauerlinie in Abhängigkeit ihrer Verkehrsbelastung über die genannten q-v-Funktionen genau eine mittlere Geschwindigkeit (als Input für die weitere Wirkungsberechnung) zugeordnet. Bei Überschreiten einer der Kapazität entsprechenden Verkehrsbelastung wird je nach Streckentyp mit einer konstanten "Staugeschwindigkeit" (für Stop & Go) gerechnet.

Zur Bewertung wird vorgeschlagen, für jede Stundengruppe nicht nur mit einer mittleren Geschwindigkeit zu rechnen, sondern die Verkehrsleistung jeder Stundengruppe in einen Zustand für stabilen Verkehrsfluss und einen mit Stop & Go aufzuteilen. Darüber hinaus werden Wahrscheinlichkeiten für Verkehrszusammenbrüche pro Stundengruppe definiert. Die Wirkung einer SBA ergibt sich in einer Mit-/Ohne-Fall-Unterscheidung daraus, dass Dauerlinien mit SBA für jede Stundengruppe weniger an Stop & Go-Verkehr aufweisen (Mitfall) als Dauerlinien ohne SBA. Die Anteile für den Stop & Go-Verkehr werden dabei mit der Geschwindigkeit von $v = 20 \text{ km/h}$ gerechnet. Die in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Wirkungskomponenten der EWS sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammen mit den jeweiligen Modellparametern dargestellt:

Tab. 1: Wirkungsanalyse

Wirkungsanalyse	
Wirkungskomponenten	Wirkungsparameter
Fahrzeit	q-v-Funktion Dauerlinien
Betriebskosten	q-v-Funktion Dauerlinien Verbrauchsfunktionen
Schadstoffe	q-v-Funktion (Fahrmuster) Dauerlinien Emissionsfunktionen
Klimabelastung	q-v-Funktion Dauerlinien Verbrauchsfunktionen

Die Monetarisierung der Fahrzeiten wird mit den Kostensätzen der EWS fahrzeuggruppengetrennt durchgeführt. Durch Multiplikation mit dem Kostensatz zur Bewertung der Belastung der Vegetation durch Luftschadstoffe kann die Schadstoffbelastung monetarisiert werden. Zusätzlich werden die Kosten für die Klimabelastung errechnet. Für das Unfallgeschehen wird auf das vorhandene Verfahren zurückgegriffen.

Der vorgesehene methodische Ansatz zur Bewertung des Nutzens von Streckenbeeinflussungsanlagen wurde exemplarisch für den Streckenabschnitt auf der BAB A 9 zwischen Holledau und München-Nord sowie AK München-Süd bis AS Bad Aibling auf der A 8 Ost präzisiert, in seiner Anwendung dargestellt und quantifiziert. Als Referenzjahr wurde das Jahr 2000 festgelegt. Die Ansetzung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten basiert auf den vorab beschriebenen empirischen Erkenntnissen. Die zuvor dargestellten Berechnungsgrundlagen und Annahmen führen zu den jährlichen Nutzen [€/h] je Fahrtrichtung (differenziert nach Nutzenkomponente, Abschnitt, Fahrtzweck- und Stundengruppe). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die SBA A 9 bedeutsame Nutzen quantifiziert werden können.

Als mit nahezu 33 % neben den Unfallkostenrückgängen (ca. 65 %) wesentliche Nutzenkomponente ist die Zeitkostensparnis im Zuge der SBA anzusehen, während die übrigen Komponenten Betriebskosten, Schadstoffemissionen und Kli-

mabelastung in der Nutzenquantifizierung vergleichsweise geringe Potenziale aufweisen. Addiert man den quantifizierbaren Nutzen aus Reisezeit, Betriebskosten, Schadstoffemission und Klimabelastung sowie Verkehrssicherheit, lässt sich ein jährlicher Gesamtnutzen bestimmen.

4. Folgerungen für die Praxis

Nachstehend sind die aus dem Vorhaben gewonnenen Folgerungen für die Praxis zusammengefasst:

- Der Zusammenhang der Minimierung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeit mit der SBA ist sehr wahrscheinlich, da sich bei allen untersuchungsrelevanten Anlagen hohe Schlüssigkeit/Akzeptanz der Anzeigen gezeigt hat. Es lässt sich ein Verfahren ableiten, in dem über Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten in verschiedenen Verkehrsstärkeklassen auf Basis der EWS entsprechende Nutzen quantifiziert werden.
- Die Unfallreduzierung hat den Hauptanteil (ca. 2/3) am Gesamtnutzen. Ein weiterer Nutzen liegt mit fast 33 % in der Reduktion der Zeitkosten; dieser sollte daher künftig bei der Gesamtnutzenbetrachtung von SBA nicht weiter vernachlässigt werden.
- Ansonsten sind lediglich die Betriebskosten mit ca. 1 bis 2 % noch erkennbar verändert. Alle anderen Faktoren können vernachlässigt werden.

Der beschriebene Ansatz kann zunächst provisorisch für die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit geplanter SBA in hochbelasteten Streckenabschnitten verwendet werden, da hiermit die neben den Unfall- nicht unerheblichen Zeitkostengewinne überschlüssig vorab ermittelt werden können. Auch im zweistreifigen Bereich können dabei zunächst die für den dreistreifigen Bereich vorgeschlagenen Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten mit und ohne SBA genutzt werden. Es sollten bei künftigen Anlagen generell vorab Verkehrsdatenerfassungseinrichtungen errichtet werden, damit der Ansatz – vor allem für die meist kritischeren Fälle der zweistreifigen Richtungsquerschnitte – statistisch noch besser belegt werden kann (z. B. über Vorabinstallation von Induktivschleifen bzw. Inbetriebnahme der Überkopfdatenerfassung unmittelbar nach Errichtung der Aufstellvorrichtungen). Empfohlen wird hier eine entsprechende Vorgabe des BMVBW an die Betreiber künftiger Anlagen.

Es sollte hier ein weiteres Vorhaben angeschlossen werden, bei dem gezielt einige im Aufbau befindliche Anlagen entsprechend ausgeschrieben und untersucht werden, um den aus Sicht des Forschungsnehmers viel versprechenden Ansatz weiter zu verifizieren bzw. zu optimieren. Generell ist es sinnvoll, die Betreiber darauf hinzuweisen, dass verstärkt ein Augenmerk auf den Nachweis der Auswirkungen der SBA auf den Verkehrsablauf (nicht nur allein die Unfallsituation) gelegt wird, um hier auch das Verfahren zur Vorab-Nutzen-Ermittlung ständig optimieren bzw. korrigieren zu können. Möglichkeiten, die Nachweisverfahren zu optimieren, bieten z. B. so genannte Benchmarking-Verfahren oder aber auch die Vorgabe bereits bei der Ausschreibung, dass einheitliche Datenformate/Exportschnittstellen vom Ersteller der Anlage zu liefern sind, an denen die Möglichkeit zum Auslesen der Daten besteht. Dies alles würde dazu führen, einerseits die Verfahrensweise zu automatisieren und andererseits den Aufwand für die Bearbeitung zu minimieren. □