

**Fachveröffentlichung der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**bast**

**Begleitforschung und Ergänzung  
des Merkblatts 'Ermittlung der Wirksamkeit  
von Verkehrsbeeinflussungsanlagen'**

**Endbericht zu FE 03.0425/2007/IGB**

**Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch**

**Bearbeiter: Dipl.-Ing. Slavica Grošanić  
Dipl.-Ing. Alexander Dinkel  
Dipl.-Math.(FH) Andrea Schieferstein  
Dipl.-Ing. Magnus Stadler**

**Juni 2009**

Busch, F., Grosanic, S., Dinkel, A., Schieferstein, A.,  
Stadler, M.

Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts  
'Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungs-  
anlagen'

Endbericht  
im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen

Lehrstuhl für Verkehrstechnik  
TU München  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. F. Busch  
Arcisstr. 21

80333 München

Tel.: 089 / 28922438  
Fax: 089 / 28922333  
E-mail: [info@vt.bv.tum.de](mailto:info@vt.bv.tum.de)

## Kurzfassung

Diese Forschungsarbeit beschäftigt sich mit der Ergänzung des Hinweispapiers „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ und der Untersuchung der bestehenden Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung. Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist es für die noch fehlenden Verkehrsbeeinflussungstypen ex-ante Wirksamkeitsschätzungen zu erarbeiten. Die Verfahren sollen primär einfach in ihrer Handhabung sein und im Detaillierungsgrad bezüglich der Datengrundlage variieren können. Ein weiteres Ziel war es die im Hinweispapier beschriebenen Verfahren auf ihre Anwendbarkeit hin zu überprüfen.

Um die unterschiedlichen Wirkungen bezüglich Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) zu ergründen wurde eine internationale Literaturrecherche durchgeführt. Zudem wurde nach bereits Bestehenden Verfahren in anderen Ländern zur ex-ante Wirksamkeitsschätzung recherchiert. Es wurde festgestellt, dass es international kaum Verfahren und Untersuchungen zur Vorabschätzung der Wirkung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen gibt.

Als Primärindikator für die Bewertung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen hinsichtlich der Verkehrssicherheit gilt deren Einfluss auf Unfallzahlen, d. h. auf die Unfallohäufigkeit bezogen auf die „Exposition“ (bei VBA ist dies im Wesentlichen die Verkehrsmenge). Zur Schätzung der Wirksamkeit von VBA auf die Verkehrssicherheit bedarf es Verfahren, die die voraussichtliche Veränderung der Unfallohäufigkeit infolge einer VBA-Maßnahme ermitteln. Indikatoren zur Bewertung der Wirksamkeit bezüglich Verkehrsfluss sind hauptsächlich Reisezeitersparnisse durch Reduzierung der Anzahl von Situationen mit Verkehrszusammenbrüchen. Die Wirksamkeitsschätzung im Vorfeld geht von Annahmen aus, die das Potential bezüglich der Zeitkostensparnis bewerten.

So wurde im Rahmen des Projektes ein neues Verfahren zur Vorabschätzung von Netzbeeinflussungsanlagen bezüglich Verkehrssicherheit entwickelt. Zudem wurden neue Verfahren für Knotenbeeinflussungsanlagen zur ex-ante Wirksamkeitsschätzung von Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit konzipiert. Die neu entwickelten, sowie die bereits bestehenden Verfahren, wurden in Excel-Dateien anwenderfreundlich umgesetzt. Eine einfache und komfortable Nutzung der Verfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit aller VBA-Typen hinsichtlich Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit ist dadurch möglich. Alle ex-ante Verfahren wurden an Hand von realen Daten aus geeigneten Testfeldern auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Zur Kontrolle der Sensitivität unterschiedlicher Datenquellen für die Verfahren wurden alle Eingangsgrößen mittels einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, kurz FMEA, geprüft.

Abschließend wurden Ergänzungsvorschläge zum bereits bestehenden Hinweispapier „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ erarbeitet, sowie weiterer Forschungsbedarf zur Verbesserung und Erweiterung der neuen sowie der bestehenden Verfahren angemerkt.

Die Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung wurden in Excel-Dateien umgesetzt und können u.a. unter der Email-Adresse [wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de](mailto:wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de) angefordert werden.

## Abstract

This research project is focused on the amendment of the FGSV reference note „*Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen*“ (‘Determination of the effectiveness of traffic control systems’). The main goal of this research project is to develop ex-ante evaluation methods which were still missing in the reference note. The methods should be easy to handle and be able to vary in level of detail regarding to input data.

Another goal is to check the methods which are introduced in the FGSV reference note concerning their applicability.

To show the different impacts of traffic control systems on traffic flow and traffic safety, an international literature research was carried out. Furthermore, literature was also researched on already existing methods in other countries regarding the ex-ante evaluation of the effectiveness. One conclusion is that there are hardly any methods and studies which are able to evaluate in advance the effect on traffic control systems.

Their influence on accident rates, i.e. the accident rate related to “exposure” (in case of traffic control system, it is basically the traffic volume) serves as primary indicator for the evaluation of effectiveness of traffic control systems with regard to safety. To evaluate the effectiveness of traffic control system on traffic safety, methods are needed which identify the probable change in accident rates due to the operation of a traffic control system measure. The main indicator for the evaluation of effectiveness regarding the traffic flow is travel time savings, due to fewer situations with traffic collapse. The evaluation of effectiveness in advance is based on assumptions that assess the potential regarding travel time savings. Thus a new method for the ex-ante evaluation of network control systems with regard to traffic safety was developed. As part of the project also new methods for the evaluation of traffic flow and safety were designed for junction control systems. All methods were implemented in user friendly Excel-applications. Thus an easy and comfortable use of the methods is possible. With regard to their applicability, all ex-ante methods were checked by using real data from adequate test sites. To check the sensitivity of the different input data, all input data for a special method were tested with the ‘Failure Mode and Effects Analysis’ (FMEA).

Finally proposals for amendment to the already existing FGSV reference note were drawn up. Further research needs were noted in order to improve and develop the new and existing methods.

All methods were implemented in user friendly Excel-applications and can be requested at [wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de](mailto:wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de).

## **Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts**

### **'Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen'**

#### **Problemstellung und Zielsetzung**

Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) werden eingesetzt, um den Verkehrsablauf harmonischer, sicherer und nutzeroptimiert zu gestalten. Die Wirkungen von VBA wurden in mehreren Studien und Projekten nachgewiesen. Dabei wurden Änderungen des Verkehrsflusses und statistische Vergleiche von Unfallhäufigkeiten vor und nach Einführung einer VBA bzw. zwischen vergleichbaren Strecken mit und ohne VBA durchgeführt.

Es bedarf allerdings einer Entwicklung von Verfahren, die das Wirkungspotential einer VBA vor Inbetriebnahme abschätzen können. Diese Verfahren sollen sich im Wesentlichen auf die Wirkungsbereiche Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit beziehen.

Im Rahmen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) wurde das Wissensdokument „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ erstellt, in dem einige Verfahren zur Schätzung der Wirksamkeit verschiedener VBA-Typen vor deren Inbetriebnahme und die Wirksamkeitsberechnung nach deren Inbetriebnahme aufgeführt sind. Die bereits entwickelten und im Dokument beschriebenen Verfahren werden in vorliegender Begleitforschung und Ergänzung zum Hinweispapier anhand der Daten von ausgewählten Teststrecken angewendet. Für VBA-Typen, für die im Hinweispapier bisher keine Verfahren zur Schätzung der Wirkungen existieren, werden entsprechende Verfahren neu entwickelt und ebenfalls anhand von Daten aus ausgewählten Teststrecken angewendet.

Als Primärindikator für die Bewertung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen hinsichtlich der Verkehrssicherheit gilt deren Einfluss auf Unfallzahlen, d. h. auf die Unfallhäufigkeit bezogen auf die „Exposition“ (bei VBA ist dies im Wesentlichen die Verkehrsmenge). Zur Schätzung der Wirksamkeit von VBA auf die Verkehrssicherheit bedarf es Verfahren, die die voraussichtliche Veränderung der Unfallhäufigkeit infolge einer VBA-Maßnahme ermitteln. Indikatoren zur Bewertung der Wirksamkeit bezüglich Verkehrsfluss sind hauptsächlich Reisezeitersparnisse durch Reduzierung der Anzahl von Situationen mit Verkehrszusammenbrüchen. Die Wirksamkeitsschätzung im Vorfeld geht von Annahmen aus, die das Potential bezüglich der Zeitkostensparnis bewerten.

#### **Methodik**

Im Folgenden werden vorhandene wissenschaftliche Verfahren und in der Praxis verwendete Instrumente zur Wirksamkeitsuntersuchung verschiedener VBA-Kategorien zur Netzbeeinflussung (NBA), Streckenbeeinflussung (SBA) und zur Knotenbeeinflussung (KBA) kurz dargestellt. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden in dem Projekt FE 03.0425/2007/IGB „Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts ‚Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen‘“ Ansätze identifiziert, die für die Schätzung der Wirksamkeit von VBA herangezogen werden können. Desweiteren wurden vorhandene und neu entwickelte Verfahren auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Alle Verfahren wurden mit Daten aus geeigneten Testfeldern untersucht.

Zunächst werden Steuerungsstrategien von VBA untersucht und eine Literaturrecherche zu vorhandenen Wirksamkeitsuntersuchungen durchgeführt. Im Anschluss werden praxistaugliche Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung (ex-ante) von NBA hinsichtlich Verkehrssicherheit sowie für KBA hinsichtlich Verkehrssicherheit und des Verkehrsflusses entwickelt. Sämtliche Verfahren werden an Hand von realen Daten aus verschiedenen Testfeldern bezüglich ihrer Anwendbarkeit überprüft. Ergebnisse der ex-ante Evaluation der bereits im Hinweispapier „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ integrierten als auch der neu entwickelten Verfahren werden erläutert. Zusätzlich wird die Bewertung des Aufwands und der Ergebnisse der Verfahren mit Hilfe der 5 Schritte der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) umgesetzt. Bei FMEA werden Kennzahlen zur Klassifizierung der Bedeutung, der Verfügbarkeit, der Qualität und Entdeckungswahrscheinlichkeit von „Fehlern“ vergeben. Durch eine gewichtete Verknüpfung der Kennzahlen errechnet sich eine Risikobeurteilung in Form einer Risikoprioritätszahl. Zudem werden Ergänzungsvorschläge für das bestehende Hinweispapier erarbeitet. Die Verfahren sind je nach Datenverfügbarkeit und Qualität in unterschiedlicher Genauigkeit anwendbar. Zur Orientierung der Auswirkung der Datenquelle auf das Verfahren geben die Kennzahlen und die Risikoprioritätszahl der FMEA Aufschluss. Für jedes Verfahren wird gesondert beschrieben welche Verbesserungen in der Beschreibung der Verfahrensschritte oder genauere Definitionen zu Begrifflichkeiten, die für den Anwender der Verfahren relevant sind, erforderlich sind. Im Anhang findet sich ein Glossar mit den wichtigsten Begrifflichkeiten für die Verfahren zur ex-ante Wirksamkeitsschätzung. Hier finden sich neue Definitionen, die bei der Durchführung der Nachweise mit Hilfe der Verfahren hilfreich sind.

## **Neu entwickelte Verfahren**

### **NBA – Verkehrssicherheit**

Das Verfahren zur Vorabschätzung der Wirkungen von NBA auf die Verkehrssicherheit basiert auf einem Vergleich der jährlichen Unfallkosten ohne und mit Einsatz von NBA-Maßnahmen. In vielen Fällen ist für den Vorher-Nachher-Vergleich der erforderliche Umfang an Unfalldaten nicht vorhanden. Bei geplanten NBA liegen keine Unfalldaten für den Ausbauzustand vor und bei existierenden NBA sind oftmals Umfang und Qualität der Daten nicht ausreichend. Daher bietet sich für die Unfallkostenermittlung ein Ansatz an, der das Unfallgeschehen ohne und mit NBA in Bezug zum Verkehrsgeschehen setzt. Die Wirkungen einer NBA lassen sich durch die Änderung der Unfallkosten innerhalb der Netzmasche bei Umleitung des beeinflussbaren Verkehrsanteils abschätzen. Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, das die Unfallkosten abschnittsfein für die Fälle mit und ohne NBA vergleicht, sowohl auf der Normal- als auch auf der Alternativroute.

### **KBA – Verkehrsfluss**

Aus der Analyse unterschiedlicher Verfahren zur Steuerung von Zuflussregelungsanlagen wurde ein Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung abgeleitet. Das Verfahren vergleicht die Reisezeiten am Knotenpunkt mit und ohne Beeinflussung des Verkehrs durch eine Zuflussregelungsanlage. Die Wartezeiten, die sich auf der Zufahrtsrampe durch die Dosierung des Verkehrsstroms einstellen, werden mit Hilfe eines geeigneten Warteschlangenmodells berechnet und in der Reisezeitenbilanz mit berücksichtigt. Das

Wirkungspotential errechnet sich aus der Bilanzierung der Reisezeiten mit und ohne Beeinflussung am Knotenpunkt.

### **KBA – Verkehrssicherheit**

Der primäre Sicherheitsgewinn von KBA entsteht, indem kritische Situationen, in denen Unfälle entstehen können, vermieden werden. Bei einer Beeinflussung des Verkehrsgeschehens an einem Knotenpunkt wird die Anzahl an Situationen, die zu einem Verkehrsstau führen, reduziert. Hierdurch ist ein sekundärer Sicherheitsgewinn zu verzeichnen, da sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von kritischen Auffahrunfällen reduziert.

Durch Verkehrsbeeinflussung mittels variabler Fahrstreifenzuteilung wird eine verbesserte Verkehrsführung erreicht. Bei Zuflussregelungsanlagen kommt hinzu, dass durch die Zerstückelung von Fahrzeugpuls das Einfädeln erleichtert und somit das Gefahrenpotential beim Einfädelvorgang reduziert wird.

Nicht alle Unfälle lassen sich durch die Installation einer KBA vermeiden. Zum Anteil der vermeidbaren Unfälle durch KBA liegen keine Informationen vor, deshalb wird definiert, welche Unfälle „adressiert“ werden können, um daraus die Unfallkosten und Unfallraten zu berechnen. Diese fungieren als Indikatoren für die Wirkung einer KBA bezüglich der Verkehrssicherheit. Adressierbare Unfälle entsprechen den Unfällen, die im ex-ante Zeitraum vorgefallen sind und durch eine Schaltung einer KBA potenziell angesprochen werden können und ggf. aufgrund dessen nicht aufgetreten wären.

### **Fazit**

In diesem Forschungsprojekt wurden neue Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung entwickelt und bereits bestehende Verfahren auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Die Anwendung wurde für alle Verfahren zur ex-ante Wirksamkeitsschätzung mit Hilfe von Excel-Dateien automatisiert und die Dateien können den Anwendern zur Verfügung gestellt werden. Jedes Verfahren wurde mit Daten aus geeigneten Testfeldern überprüft. Mittels einer FMEA wurden alle Verfahren hinsichtlich der Sensitivität auf unterschiedliche Eingangsgrößen analysiert. Verbesserungsvorschläge und Anregungen zur Erweiterung des FGSV-Hinweispapieres werden für jede VBA-Art gegeben.

Bei einigen Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung werden verschiedene Varianten zur Abschätzung des Nutzens vorgeschlagen, die sich hinsichtlich des Detaillierungsgrades unterscheiden. Ein Ziel des Hinweispapieres ist es, dem Anwender einfache und in der Praxis leicht anwendbare Verfahren zur Verfügung zu stellen. Oftmals sind solche Annahmen jedoch sehr grob und ungenau. Deshalb wird in den Verfahrensvarianten durch weitere optionale Schritte eine Erhöhung der Qualität der Eingangsdaten bzw. der Verfahrensannahme vorgeschlagen, um somit bessere und zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten. Diese Abstufung ergibt sich aus der unterschiedlichen Verfügbarkeit und Qualität der Daten. Folgende Datenquellen sind an unterschiedlichen Stellen der Verfahren möglich:

- Schätzwerte, abgeleitete Eingangsgrößen aus ähnlichen Anlagen
- Stichprobenzählung an repräsentativen Tagen
- Datenerhebung nach TLS.



## Ausblick

Im Forschungsbericht finden sich Ergänzungen und Verbesserungsvorschläge zu den bestehenden Verfahren. Diese können nach Abstimmung in das Hinweispapier aufgenommen werden. Verfahren die noch nicht im Hinweispapier enthalten sind, wurden in diesem Forschungsprojekt neu konzipiert und die Anwendung mit Hilfe von Testdaten überprüft. Es ist zu berücksichtigen, dass die entwickelten Verfahren im Rahmen des Projektes nicht auf die Qualität der Wirksamkeitsprognose verifiziert wurden.

Zur umfassenden Bewertung der ex-ante Wirksamkeitsschätzverfahren ist nicht nur eine Überprüfung der Verfahrensanwendbarkeit notwendig, sondern auch eine Evaluierung der geschätzten Wirkungen in der Realität. Dazu wird vorgeschlagen alle ex-ante Verfahren an bereits bestehenden Anlagen zu testen. Für diese Wirksamkeitsschätzung ist es notwendig, dass Daten aus Zeiträumen vor Inbetriebnahme zur Verfügung stehen. Eine Überprüfung der tatsächlich eingetretenen und der prognostizierten Wirkung wäre somit möglich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine optimale Wirkung von VBA nur dann erreicht wird, wenn im Betrieb die Detektion fehlerfrei funktioniert und die Steuerungsparameter korrekt eingestellt sind. Des Weiteren ist das Wirkungspotential einer VBA abhängig von der jeweiligen Steuerungsstrategie.

Die Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung wurden in Excel-Dateien umgesetzt und können u.a. unter der Email-Adresse [wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de](mailto:wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de) angefordert werden.

## **Secondary research and amendment to the technical bulletin 'Determination of the effectiveness of traffic control systems'**

### **Problem definition and purpose of the study**

Traffic control systems are used to harmonise and to optimise the traffic flow for users and also to reach a higher level of safety. The effects of traffic control systems were verified in several studies and projects. In this context changes in traffic flow were analysed and statistical comparisons of accident rates were made, before and after the introduction of traffic control systems, or between comparable routes with or without traffic control systems. Methods, however, which can evaluate the potential of effectiveness before implementing the traffic control systems, have to be developed. These methods should basically refer to traffic flow and traffic safety.

The project group "Traffic Management" of the "*Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)*" drew up the reference note on „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen" (References to evaluate and calculate the effectiveness of traffic control systems) in which several methods for the evaluation of effectiveness of different traffic control system-types before and after implementation were introduced. The methods already developed and described in the reference note are applied in this secondary research and amendment on the basis of data of selected test sites. Methods for evaluating the effectiveness will be developed newly for those traffic control system-types, which are not covered in the reference note yet. They are also applied on the basis of data from selected test sites.

Their influence on accident rates, i.e. the accident rate related to "exposure" (in case of traffic control systems it is basically the traffic volume) serves as primary indicator for the evaluation of effectiveness of traffic control systems with regard to safety. To evaluate the effectiveness of traffic control systems on traffic safety, methods are needed which identify the probable change in accident rates due to the operation of a traffic control systems measure. The main indicator for the evaluation of effectiveness regarding the traffic flow is travel time savings, due to fewer situations with traffic collapses. The evaluation of effectiveness in advance is based on assumptions that assess the potential regarding travel time savings.

### **Methodology**

Existing scientific methods and instruments used in practice to analyse the effectiveness of various TCS categories for network control systems, lane control systems and junction control systems will be shortly described in the following.

In connection with a literature research, approaches have been identified in the project FE 03.0425/2007/IGB „Secondary research and amendment to the technical bulletin 'Determination of the effectiveness of traffic control systems'" which is useful for the evaluation of effectiveness of traffic control systems. Furthermore, existing and newly developed methods were tested regarding their practicability. On the basis of data from adequate test sites all methods were checked.

First of all, control strategies for traffic control systems were surveyed and a literature research on existing effectiveness analyses was carried out. Subsequently, ex-ante methods appropriate in practice to

evaluate the effectiveness of network control systems regarding traffic safety as well as for junction control systems regarding traffic safety and traffic flow was developed. All methods were checked on the basis of real data from different test sites in respect of their applicability. The results of the ex-ante evaluation of *“Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen”* (References to evaluate and calculate the effectiveness of traffic control systems) already integrated in the reference note just as the methods newly developed were elaborated. Additionally, cost and benefit of the results was analysed by means of the 5 steps of the ‘Failure Mode and Effects Analysis’ (FMEA) which detects possible errors and their influence. To apply the FMEA analysis, indicators to classify the importance, availability, quality and detection probability of an error are determined. By means of a weighted relation of the indicators, a risk assessment in the form of a risk priority rate can be calculated. Besides, proposals for amendments for the existing reference note were made. The methods, depending on data availability and quality, can provide varying results in their accuracy. For each method it will be specified separately which improvements are necessary in the description of the method steps or which more exact definitions of terms relevant for the user of the methods are required. The appendix includes a glossary of the most important terms with regard to ex-ante evaluation of effectiveness. New definitions helpful when implementing the methods can be found here.

### **Newly developed methods**

#### **Network control system - traffic safety**

The method for assessing the effectiveness of network control systems on the road safety is based on a comparison of annual accident costs without and with the use of network control systems. In many cases the required amount of accident data is not available for a comparison before and after the installation of the network control systems. With planned network control systems there are no accident data available for the final implementation and with existing network control systems the amount and quality of data is often not sufficient. Therefore, an approach for the determination of accident cost is used which sets the occurring accident without and with network control systems in purchase to the occurring traffic situation. The effects of a network control system can be measured by the change of accident costs within the network due to diverting the traffic that can be controlled. For that purpose a method was developed which compares the accident costs section fine for the cases with and without network control systems, both on the normal and on the alternative route.

#### **Junction control system - traffic flow**

From the analysis of different method for the control of ramp metering a procedure was derived for the estimation the effects on traffic flow. The method compares the travel times at the junction with and without controlling the traffic by a ramp metering system. The queuing time, which adjusts itself on the onramp by the dosage of the traffic stream, is computed with the help of a suitable queuing theory and is considered in the travel time. The potential of the system is calculated by the balance of the travel times with and without control at the junction.

#### **Junction control system - traffic safety**

Primary safety gain of junction control systems arises, if critical situations, in which accidents can happen, are avoided. In case of traffic control at a junction, the number of situations which lead to congestion is reduced. Thereby a secondary safety gain has to be recognized, since the probable occurrence of critical rear end collisions has been reduced.

Variable lane allocation can be a further effective measure of traffic control. Ramp metering, by fragmenting the traffic bunches, additionally allows to reduce the potential risk of an accident because contrive procedure is easier.

Not all accidents can be avoided by the installation of a junction control system. There is no information about the rate of potentially avoidable accidents. Therefore it will be defined which accidents could be addressed, in order to calculate accident costs and accident rates. These are indicators for the effect of junction control systems concerning the road safety. Addressable accidents correspond to the accidents which occur in the ex-ante period and could have been avoided by an operating junction control system.

## **Conclusion**

For this research project new methods for the evaluation of the effectiveness were developed, together with already existing methods they were tested on their applicability. For all methods of the evaluation of the effectiveness the application of the methods was automated by Excel-applications which are now available for the users. Each method was tested with data from adequate test site. All methods were analyzed concerning their sensitivity of different input data by applying a 'Failure Mode and Effects Analysis' (FMEA). Suggestions for improvements and proposals for the extension of the FGSV reference note are given for each traffic control system-type.

For some methods different alternatives for the estimation of the benefits are proposed. They differ with regard to the grade of detail. One goal of the FGSV reference note is to provide an easy applicable and handy method to the user. Often the assumptions, however, are merely approximate. Therefore, additional, optional steps to increase the quality of input data or of assumptions are proposed, to reach better and more reliable results. This grading of different alternatives for the application of the methods is due to availability and quality of the data. The following data sources are possible for the methods:

- Estimated values, derived input data from similar systems
- Sample data from representative days
- Data collection according to TLS.

## **Further Prospects**

The project report includes amendments and suggestions for improvements for the existing methods. They can be included in the FGSV reference note. The missing methods were developed in line with the research project and the application was tested. In this context it has to be regarded that the methods were not verified considering the quality of the prognosis of the effectiveness.

Beside the test of the applicability, also the evaluation of the estimated effects in reality is relevant for a comprehensive evaluation of the ex-ante methods. Consequently it is suggested to test all ex-ante methods with already existing traffic control systems. Therefore, data are required from periods before

implementation. So a comparison between the real effects and the estimated effects would be possible. However, this evaluation depends strongly on accurate data collection and on correct parameters for the methods. The potential of the identified effects depends also on the applied control strategies of the traffic control systems. For these reasons the evaluation of the effectiveness also has to consider the different control strategies.

All methods were implemented in user friendly Excel-applications and can be requested at [wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de](mailto:wirksamkeit-vba@vt.bv.tum.de).

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract .....</b>	<b>II</b>	4.2.3.6 NBA-Maßnahmen .....	18
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>	4.2.3.7 Verkehrsszenariospezifisches Beeinflussungspotential .....	18
1.1 Problemstellung .....	1	4.2.3.8 Stündliche Verkehrsstärke .....	19
1.2 Methodisches Vorgehen .....	1	4.2.3.9 Unfallkosten .....	19
<b>2 Verkehrsbeeinflussungs- anlagen.....</b>	<b>2</b>	4.2.3.10 Wirkung der NBA auf die Verkehrssicherheit.....	19
2.1 Übersicht.....	2	<b>4.3 KBA – Verkehrssicherheit.....</b>	<b>19</b>
2.2 Netzbeeinflussungsanlagen .....	2	4.3.1 Ansatz.....	19
2.3 Streckenbeeinflussungsanlagen .....	4	4.3.2 Verfahrensprinzip .....	19
2.4 Knotenbeeinflussungsanlagen .....	4	4.3.3 Verfahrensschritte: Variable Fahrstreifenzuteilung.....	21
2.4.1 Variable Fahrstreifenzuteilung .....	4	4.3.3.1 Untersuchungsraum .....	21
2.4.1 Zuflussregelung .....	5	4.3.3.2 Untersuchungszeitraum .....	21
<b>3 Bestehende Verfahren zur Wirksamkeitsuntersuchung...5</b>		4.3.3.3 Daten .....	21
3.1 FGSV – Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von VBA .....	5	4.3.3.4 Schaltungsaktive Zeitintervalle .....	22
3.2 Ergebnisse der Literaturrecherche ..	6	4.3.3.5 Filterung nach Unfallkategorie .....	22
3.2.1 VBA-Kategorien übergreifende Normen und Richtlinien .....	6	4.3.3.6 Filterung nach Unfalltyp .....	22
3.2.2 Netzbeeinflussungsanlagen .....	6	4.3.3.7 Filterung nach Unfallart.....	22
3.2.3 Streckenbeeinflussungsanlagen.....	7	4.3.3.8 Filterung nach Unfallursache .....	22
3.2.4 Knotenbeeinflussungsanlagen .....	7	4.3.3.9 Unfallrate und Unfallkosten.....	22
<b>4 Entwicklung von Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung.10</b>		4.3.4 Verfahrensschritte: ZFR .....	22
4.1 Grundlagen .....	10	4.3.4.1 Untersuchungsraum .....	22
4.1.1 Begriffsdefinitionen Verkehrssicherheit ..	10	4.3.4.2 Untersuchungszeitraum .....	22
4.1.2 Begriffsdefinitionen Verkehrsfluss .....	12	4.3.4.3 Daten .....	22
4.2 NBA - Verkehrssicherheit.....	13	4.3.4.4 Schaltungsaktive Zeitintervalle .....	23
4.2.1 Ansatz.....	13	4.3.4.5 Filterung nach Unfallkategorie .....	23
4.2.2 Verfahrensprinzip.....	16	4.3.4.6 Filterung nach Unfalltyp .....	23
4.2.3 Verfahrensschritte.....	17	4.3.4.7 Filterung nach Unfallart.....	23
4.2.3.1 Untersuchungsraum.....	17	4.3.4.8 Filterung nach Unfallursache .....	23
4.2.3.2 Untersuchungszeitraum .....	17	4.3.4.9 Unfallrate und Unfallkosten.....	23
4.2.3.3 Daten.....	17	<b>4.4 KBA – Verkehrsfluss.....</b>	<b>23</b>
4.2.3.4 Mittlere Kfz-Reisezeit .....	18	4.4.1 Ansatz.....	23
4.2.3.5 NBA-relevante Störungen .....	18	4.4.2 Verfahrensprinzip .....	25
		4.4.3 Verfahrensschritte .....	27
		4.4.3.1 Untersuchungsraum .....	27
		4.4.3.2 Untersuchungszeitraum .....	27
		4.4.3.3 Daten .....	27
		4.4.3.4 Verkehrsstärkekombinationen .....	27

4.4.3.5	Reisezeit ohne ZFR .....	27	5.6.2.1	Variable Fahrstreifenzuteilung .....	43
4.4.3.6	Reisezeit mit ZFR.....	27	5.6.2.2	ZFR.....	44
4.4.3.7	Rückstaulänge .....	28	5.6.3	Bewertung der Verfahrensanwendung....	45
4.4.3.8	Nutzenberechnung.....	28	<b>6 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) .....</b>	<b>45</b>	
4.4.4	Vereinfachung der Verfahrensschritte ....	28	6.1	Definition FMEA .....	45
<b>5 Anwendung der Verfahren...29</b>			6.2	Ablauf einer FMEA .....	46
5.1	NBA - Verkehrssicherheit.....	29	6.2.1	Vorbereitung und Planung.....	46
5.1.1	Testfeld NBA.....	29	6.2.2	Analyse potenzieller Fehler .....	46
5.1.2	Softwaretechnische Implementierung ....	29	6.2.3	Risikobewertung.....	47
5.1.3	Ergebnisse der Verfahrensanwendung ..	30	6.2.4	Qualitätsverbesserung .....	48
5.1.4	Bewertung der Verfahrensanwendung...	31	6.2.5	Bewertung und Auswahl.....	48
5.2	NBA – Verkehrsfluss .....	32	6.2.6	Ergebnisbeurteilung .....	48
5.2.1	Softwaretechnische Implementierung ....	32	6.3	Anwendung FMEA .....	49
5.2.2	Ergebnisse der Verfahrensanwendung ..	32	6.3.1	NBA .....	49
5.2.3	Bewertung der Verfahrensanwendung...	33	6.3.1.1	Verkehrssicherheit .....	49
5.3	SBA – Verkehrssicherheit .....	34	6.3.1.2	Verkehrsfluss .....	49
5.3.1	Testfeld SBA.....	34	6.3.2	SBA .....	50
5.3.2	Softwaretechnische Implementierung ....	35	6.3.2.1	Verkehrssicherheit .....	50
5.3.3	Ergebnisse der Verfahrensanwendung ..	36	6.3.2.2	Verkehrsfluss .....	50
5.3.4	Bewertung der Verfahrensanwendung...	37	6.3.3	KBA .....	50
5.4	SBA – Verkehrsfluss .....	37	6.3.3.1	Verkehrssicherheit .....	50
5.4.1	Softwaretechnische Implementierung ....	37	6.3.3.2	Verkehrsfluss .....	50
5.4.2	Teil 1: Zeitkosten – Verkehrsbedingte Stautunden .....	37	<b>7 Ergänzungsvorschläge für das Merkblatt.....51</b>		
5.4.2.1	Ergebnisse der Verfahrensanwendung	37	7.1.1	NBA .....	51
5.4.2.2	Bewertung der Verfahrensanwendung	38	7.1.1.1	Verkehrssicherheit .....	51
5.4.3	Teil 2: Zeitkosten – Unfallbedingte Stautunden .....	38	7.1.1.2	Verkehrsfluss .....	52
5.4.3.1	Ergebnisse der Verfahrensanwendung	38	7.1.2	SBA .....	52
5.4.3.2	Bewertung der Verfahrensanwendung	38	7.1.2.1	Verkehrssicherheit .....	52
5.5	KBA – Verkehrssicherheit .....	40	7.1.2.2	Verkehrsfluss .....	52
5.5.1	Testfelder KBA.....	40	7.1.3	KBA .....	53
5.5.2	Softwaretechnische Implementierung ....	41	7.1.3.1	Verkehrssicherheit .....	53
5.5.3	Ergebnisse der Verfahrensanwendung ..	42	7.1.3.2	Verkehrsfluss .....	53
5.5.3.1	Variable Fahrstreifenzuteilung .....	42	<b>8 Fazit .....</b>	<b>54</b>	
5.5.3.2	ZFR .....	42	<b>9 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf .....</b>	<b>54</b>	
5.5.4	Bewertung der Verfahrensanwendung...	43	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>56</b>	
5.6	KBA – Verkehrsfluss .....	43			
5.6.1	Softwaretechnische Implementierung ....	43			
5.6.2	Ergebnisse der Verfahrensanwendung ..	43			

---

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>60</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>65</b>
<b>Variablenverzeichnis .....</b>	<b>61</b>	<b>Formelverzeichnis.....</b>	<b>66</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>62</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>67</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>64</b>		



## 1 Einführung

### 1.1 Problemstellung

Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) werden eingesetzt, um den Verkehrsablauf harmonischer, sicherer und nutzeroptimiert zu gestalten. Die Wirkungen von VBA wurden in mehreren Studien und Projekten nachgewiesen. Dabei wurden Änderungen des Verkehrsflusses und statistische Vergleiche von Unfallhäufigkeiten vor und nach Einführung einer VBA bzw. zwischen vergleichbaren Strecken mit und ohne VBA durchgeführt.

Für viele Anlagenarten bedarf es jedoch einer Entwicklung von Verfahren, die das Wirkungspotential einer VBA vor Inbetriebnahme abschätzen können. Diese Verfahren sollen sich im Wesentlichen auf die Wirkungsbereiche Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit beziehen.

Im Rahmen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement wurde das Wissensdokument „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ [FGSV, 2007b] erstellt, in dem einige Verfahren zur Schätzung der Wirksamkeit verschiedener VBA-Typen vor deren Inbetriebnahme und die Wirksamkeitsberechnung nach deren Inbetriebnahme aufgeführt sind. Die bereits entwickelten und im Dokument beschriebenen Verfahren werden in vorliegender Arbeit anhand der Daten von ausgewählten Teststrecken überprüft. Für VBA-Typen, für die im Hinweispapier bisher keine Verfahren zur Schätzung der Wirkungen existieren, werden entsprechende Verfahren neu entwickelt und ebenfalls anhand von Daten aus ausgewählten Teststrecken verifiziert.

Als Primärindikator für die Bewertung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen hinsichtlich der Verkehrssicherheit gilt deren Einfluss auf Unfallzahlen, d. h. auf die Unfallhäufigkeit bezogen auf die „Exposition“ (bei VBA ist dies im Wesentlichen die Verkehrsmenge).

Zur Schätzung der Wirksamkeit von VBA auf die Verkehrssicherheit bedarf es Verfahren, die die voraussichtliche Veränderung der Unfallhäufigkeit infolge einer VBA-Maßnahme ermitteln.

Indikatoren zur Bewertung der Wirksamkeit bezüglich Verkehrsfluss sind hauptsächlich Reisezeiterparnisse durch Reduzierung der Anzahl von Situationen mit Verkehrszusammenbrüchen.

Die Wirksamkeitsschätzung im Vorfeld geht von Annahmen aus, die das Potential bezüglich der Zeitkostensparnis bewerten.

### 1.2 Methodisches Vorgehen

Im Folgenden werden vorhandene wissenschaftliche Verfahren und in der Praxis verwendete Instrumente zur Wirksamkeitsuntersuchung verschiedener VBA-Kategorien zur Netzbeeinflussung (NBA), Streckenbeeinflussung (SBA) und zur Knotenbeeinflussung (KBA) kurz dargestellt. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden in dem Projekt FE 03.0425/2007/IGB „Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts ‚Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen‘“ Ansätze identifiziert, die für die Schätzung der Wirksamkeit von VBA herangezogen werden können. Desweiteren wurden vorhandene und neu entwickelte Verfahren auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Alle Verfahren wurden mit Daten aus geeigneten Testfeldern untersucht.

Die Literaturrecherche zu vorhandenen Wirksamkeitsuntersuchungen ist in Kapitel 2 und 3 beschrieben. In Kapitel 4 werden praxistaugliche Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung (ex-ante) von NBA hinsichtlich Verkehrssicherheit sowie für KBA hinsichtlich Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss entwickelt und erläutert. In Kapitel 5 werden die einzelnen Testfelder, die als Datenbasis zur Überprüfung der Anwendbarkeit der Verfahren dienen, beschrieben. Des Weiteren finden sich in diesem Kapitel die Ergebnisse der ex-ante Evaluation sowohl der bereits im Hinweispapier [FGSV, 2007b] integrierten als auch der neu entwickelten Verfahren. In Kapitel 6 wird die Bewertung des Aufwands und der Ergebnisse der Verfahren mit Hilfe der 5 Schritte der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) umgesetzt. Bei FMEA werden Kennzahlen zur Klassifizierung der Bedeutung, der Verfügbarkeit, der Qualität und Entdeckungswahrscheinlichkeit eines „Fehlers“ vergeben. Durch eine gewichtete Verknüpfung der Kennzahlen errechnet sich eine Risikobeurteilung in Form einer Risikoprioritätszahl. Kapitel 7 beinhaltet Ergänzungsvorschläge für das bestehende Hinweispapier. Für jedes Verfahren wird gesondert beschrieben, welche Verbesserungen in der Beschreibung der Verfahrensschritte oder genauere Definitionen zur Begrifflichkeiten, die für den Anwender der Verfahren relevant sind, erforderlich sind. Das Fazit zu diesem Forschungsprojekt wird in Kapitel 8 beschrieben. Die Verfahren sind je nach Datenverfügbarkeit und Qualität in unterschiedlicher Genauigkeit anwendbar. Einen Ausblick, sowie weiteren Forschungsbedarf zur Verbesserung und Ergänzung der bestehenden und neu entwickelten Verfahren wird in Kapitel 9 beschrieben. Abschließend findet sich im Anhang ein Glossar mit den wichtigsten Begrifflichkeiten für die Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung. Hier finden sich auch neue Definitionen, die bei der Durchführung der Verfahren hilfreich sind.

## 2 Verkehrsbeeinflussungsanlagen

### 2.1 Übersicht

VBA werden entsprechend dem Einsatzort bzw. dem Wirkungsbereich zu Anlagenkategorien und -typen klassifiziert (siehe Abbildung 2-1).

NBA beeinflussen den Verkehr in einem Netzausschnitt (Netzmasche). Es wird zwischen den zwei Typen dynamische Wegweisung mit integrierten Stauinformationen (dWiSta) und Wechselwegweisung (WWW) unterschieden. SBA zielen auf die Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Verbesserung des Verkehrsflusses in einem Streckenabschnitt ab. Dabei gibt es SBA mit und ohne Seitenstreifenfreigabe. KBA wirken örtlich begrenzt an einem Knotenpunkt. Variable Fahrstreifen-zuteilung und Zuflussregelung (ZFR) sind die dabei zu unterscheidenden Typen. Punktuell querschnittsbezogen wirksame Anlagen (QBA) werden in diesem Projekt nicht näher betrachtet.

Häufig kommen die unterschiedlichen Kategorien von VBA in Kombination zum Einsatz.

### 2.2 Netzbeeinflussungsanlagen

Netzbeeinflussung auf Bundesfernstraßen umfasst Anwendungen, die dem Verkehrsteilnehmer auf kritischen Strecken im Bundesfernstraßennetz in Abhängigkeit von Verkehrs- und Fahrbahnzustand Ausweichrouten (meist innerhalb des Bundesfernstraßennetzes) aufzeigen. Ziel ist es, auf kritischen Strecken Stauungen oder andere Störungen zu vermeiden oder abzubauen sowie

eine Minimierung der Gesamtreisezeiten im Netz zu erreichen. Bei additiver WWW wird die Umleitungsempfehlung teilweise mit Begründung zusätzlich zur normalen Routenempfehlung angezeigt, während bei der substitutiven Wechselwegweisung die Umleitungsempfehlung anstelle der normalen Routenempfehlung angezeigt wird, so dass ortsunkundige Fahrer die Route nicht unbedingt als Umleitung realisieren.

Wesentliche Komponenten sind die Kommunikationstechniken, mit der die Verkehrsteilnehmer informiert und geleitet werden, i. d. R. Wechselanzeigen, sowie Systeme, die entsprechende dynamische Verkehrszustandsinformationen zur Verfügung stellen.

Durch Wechselwegweisungsanzeigen, die den Verkehr rechtzeitig vor Entscheidungspunkten auf die, hinsichtlich Reisezeit und Verkehrsdichte, günstigere Route leiten, können bei zu erwartender bzw. eingetretener Überlastung Teilströme des Verkehrs verlagert werden. Insgesamt kann so eine gleichmäßigere Verteilung der Verkehrsströme auf das Netz und eine flüssigere Verkehrsabwicklung erreicht werden. Die Netzeffizienz wird somit gesteigert. Voraussetzung hierfür ist jeweils das Vorhandensein einer leistungsfähigen Alternativroute, die auch bei zu erwartender Staugefahr oder bei Stau auf der Normalroute noch Kapazitätsreserven besitzt, und vor allem die Befolgung der WWW durch die Verkehrsteilnehmer. Prinzipiell wird die Alternativroute nur von Verkehrsteilnehmern gewählt, die die gesamte Route oder Routenmaschen durchfahren.

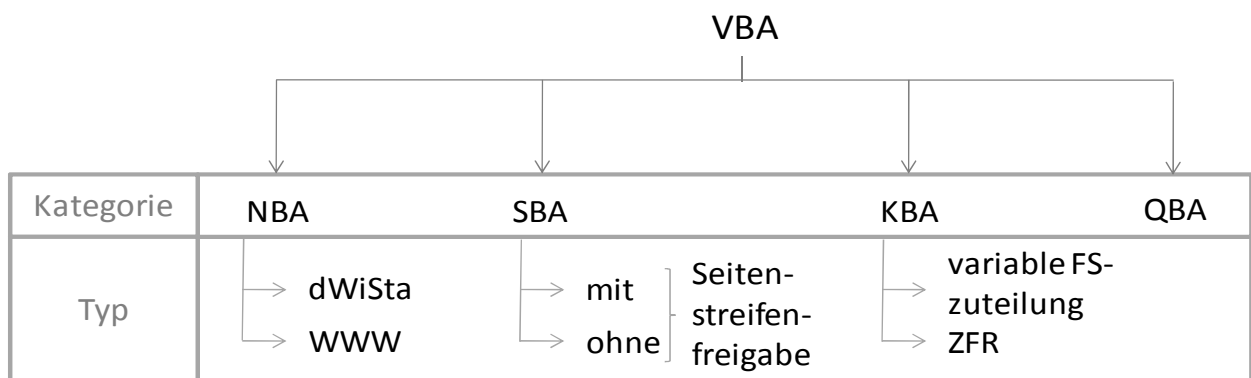


Abbildung 2-1: Kategorien und Typen von VBA [nach FGSV, 2007b]

Abbildung 2-2 zeigt exemplarisch eine mögliche NBA.



Abbildung 2-2: Skizze einer NBA [Summer School 2007]

Neben derzeit gebräuchlichen NBA-Systemen können mit Hilfe dWiSta zusätzliche unmittelbar entscheidungsrelevante Verkehrsinformationen an die Fahrer übermittelt werden [BAST, 2004a]. dWiSta zeigen neben der Empfehlung für eine alternative Route auch das Ausmaß und den Ort der Störung im BAB-Netz an (Abbildung 2-3).



Abbildung 2-3: Beispiel für einen dWiSta-Querschnitt [<http://www.move-info.de/vmz.html>]

## 2.3 Streckenbeeinflussungsanlagen

SBA (Abbildung 2-4) dienen zur Warnung vor Geschwindigkeitseinbrüchen und kritischen Umfeldbedingungen und erhöhen somit die Verkehrssicherheit. Des Weiteren dienen sie der Harmonisierung des Verkehrsflusses, was eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Straße mit sich führt.

Es wird unterschieden zwischen SBA mit und ohne Seitenstreifenfreigabe.

Bei Anlagen mit Seitenstreifenfreigabe wird bei einer hohen Verkehrsdichte der sonst gesperrte Seitenstreifen zum Befahren freigegeben. Vor Freigabe des Seitenstreifens wird geprüft, ob der jeweilige Abschnitt frei von Pannenfahrzeugen oder sonstigen Hindernissen ist. Durch eine SBA mit Seitenstreifenfreigabe wird eine Erhöhung der maximalen Kapazität erreicht.

In Hinweispapier [FGSV, 2007b] wird jedoch die Bewertung der SBA mit Seitenstreifenfreigabe nicht behandelt, da es dazu bereits ausführliche Untersuchungen [BMVBS, 2001] und ein Programm zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB gemäß ARS Nr. 20/2002 (AVP-Programm) gibt.



Abbildung 2-4: Beispiel für eine SBA ohne Seitenstreifenfreigabe [Autobahndirektion Südbayern]

## 2.4 Knotenbeeinflussungsanlagen

Bei KBA wird zwischen den beiden Anlagentypen variable Fahrstreifenzuteilung und Zuflussregelung unterschieden.

### 2.4.1 Variable Fahrstreifenzuteilung

Durch die variable Fahrstreifenzuteilung wird an einem Knotenpunkt die Verkehrsabwicklung verbessert und die Verkehrssicherheit erhöht, indem Verkehrsströme konfliktfrei bzw. konfliktarm zusammengeführt werden. Dabei wird dem temporär stärkeren Strom ein weiterer Fahrstreifen zur Verfügung gestellt, der dem derzeit schwächeren Verkehrsstrom abgezogen wird. Die Anpassung der Leistungsfähigkeit an die Verkehrsnachfrage führt zur Reduktion von Stauungen und verringerten Verkehrsbeeinträchtigungen in Form von Reisezeiterhöhungen für die Verkehrsteilnehmer. Bei KBA werden Stausituationen reduziert und somit potentielle Unfallsituationen vermieden.

Abbildung 2-5 zeigt mögliche Varianten, wie der Seitenstreifen bedarfsabhängig freigegeben werden kann.

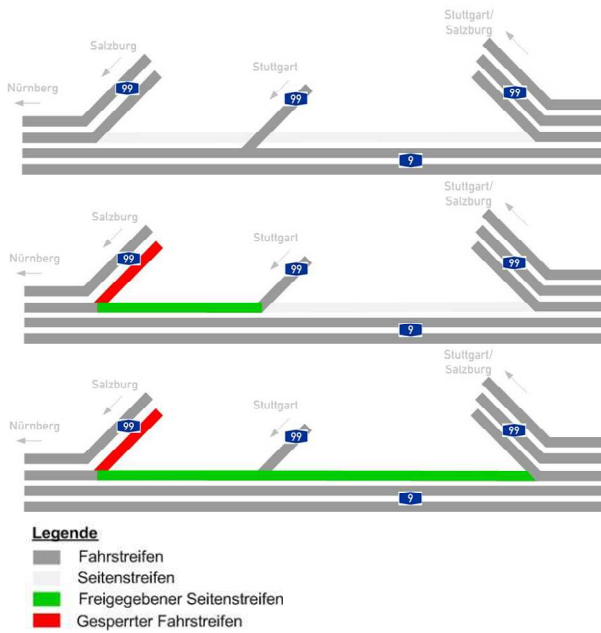


Abbildung 2-5: Beispiel für eine variable Fahrstreifen-Zuteilung [Siebentritt, 2007]

### 2.4.1 Zuflussregelung

Im Rahmen von ZFR werden an Anschlussstellen (AS) von Autobahnzufahrten die Zuflüsse mittels Lichtsignalanlagen (LSA) dosiert. Auf der Rampe wird der zufließende Strom durch die Signalisierung der LSA fragmentiert. Es werden nur so viele einfahrende Fahrzeuge zugelassen, dass der Verkehrsfluss auf der Hauptfahrbahn stabil bleibt. In Zeiten hoher Verkehrsnachfrage wird das Einfahren größerer Fahrzeugpulkts unterbunden. Die Verkehrsströme werden weitestgehend verträglich abgewickelt und die Verkehrssicherheit durch Minimierung von unfallkritischen Einfädelungsvorgängen erhöht. Die Steuerung der LSA, und somit des Zuflusses, ist so zu optimieren, dass ein Rückstau in das nachgeordnete Netz unterbunden wird.

Abbildung 2-6 zeigt beispielhaft die Anordnung einer ZFR-Anlage.

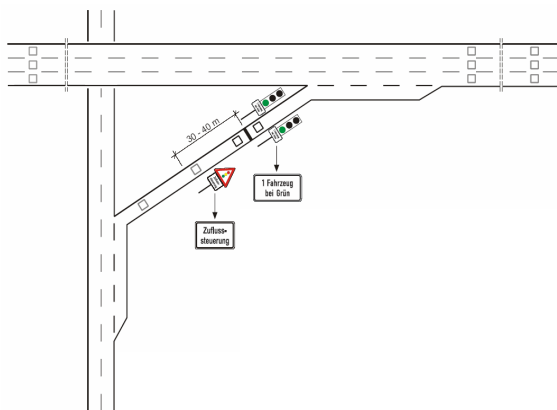


Abbildung 2-6: Beispiel für eine ZFR [FGSV, 2007a]

## 3 Bestehende Verfahren zur Wirksamkeitsuntersuchung

### 3.1 FGSV – Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von VBA

Verfahren für die Abschätzung der Wirksamkeit von VBA sind zum Teil im Dokument „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von VBA“ der FGSV zusammengefasst [FGSV, 2007b]. Die Wirksamkeitsschätzung ist eine ex-ante (lat. im Vorhinein) Evaluation, die im Vorfeld der Inbetriebnahme einer VBA, durchgeführt wird. Ex-post (lat. Im Nachhinein) Evaluationen zur Wirksamkeitsberechnung erfolgen nach Inbetriebnahme der jeweiligen Anlagen. Nachfolgende Tabelle zeigt, welche Verfahren bereits für eine ex-ante Betrachtung entwickelt wurden.

		Verkehrssicherheit	Verkehrsfluss
NBA	WWW/dWiSta	--	x
SBA	ohne Seitenstreifenfreigabe	x	x
KBA	Variable FS-Zuteilung	--	x
	ZFR	--	--

Tabelle 3-1: Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung (ex-ante) [FGSV, 2007b]

Für NBA werden die Wirkungen bezüglich des Verkehrsflusses anhand von Zeitkosten ermittelt. Dabei nehmen Größen wie Häufigkeit von Störfällen, szenariospezifische Restkapazität, Steuerungsstrategien sowie Befolungsraten Einfluss auf das Wirkungspotential. Der Nutzen einer NBA wird durch die Berechnung von Reisezeitgewinnen und Fahrzeugbetriebskosten ermittelt. Das Produkt der Nutzen aller Wirkungsszenarien und deren Häufigkeit pro Jahr ergeben den jährlichen Gesamtnutzen.

Das Verfahren zur Ermittlung von Zeitkosten im Rahmen einer SBA betrachtet die verkehrs- und unfallbedingten Stautunden. Durch die harmonisierende Wirkung von SBA und die Möglichkeit zur Gefahrenwarnung kann das Staurisiko verringert und dadurch ein volkswirtschaftlicher Nutzen erzielt werden. In der Vorabschätzung werden 5 % der ermittelten verkehrsbedingten Stautunden als Nutzen angesetzt [Pischner, 2003]. Außerdem wird davon ausgegangen, dass mit Hilfe einer SBA-Steuerung 30% der Unfälle reduziert werden können [FGSV, 2007b].

Die Wirkung einer KBA als variable Fahrstreifen-Zuteilung wird bezüglich des Verkehrsflusses ebenfalls durch Berechnung der veränderten Zeitkosten ermittelt. Das Verfahren zieht die veränderten

Kapazitäten auf der HFB und im Einfahrtsbereich in Betracht. Ermittelt werden Reisezeiten im Nullfall und in Beeinflussungsfällen. Die Differenz aus den Reisezeiten im Nullfall und der minimalen Reisezeit im Beeinflussungsfall ergibt den Nutzen der Anlage.

Hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist für SBA bereits ein Verfahren zur ex-ante Wirksamkeits-schätzung entwickelt. Als Kenngröße dienen die Unfallkosten. Der vorab geschätzte Sicherheitsgewinn beläuft sich auf den Rückgang der Unfallrate mit Personenschäden auf 12 Unfälle je 10<sup>8</sup> Fahrzeugkilometer bei zwei- und dreistreifigen Fahrbahnen [Siegener, 2000]. Weitere Komponenten des Sicherheitsgewinns stellen der Rückgang der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden in Höhe von 15 % und der Rückgang von Unfällen bei Nebel von ca. 80 % [Siegener, 2000].

Verfahren zur Wirksamkeitsberechnung (ex-post) sind vollständig im Hinweispapier [FGSV, 2007b] integriert (vgl. Tabelle 3-2).

		Verkehrssicherheit	Verkehrsfluss
NBA	WWW/dWiSta	x	x
SBA	mit/ohne Seitenstreifenfreigabe	x	x
KBA	Variable FS-Zuteilung	x	x
	ZFR	x	x

Tabelle 3-2: Verfahren zur Wirksamkeitsberechnung (ex-post) [FGSV, 2007b]

### 3.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche zu den verschiedenen Anlagen-Kategorien ist in mehrere Schritte unterteilt.

Zunächst werden die vorhandenen Normen und Merkblätter aufgeführt, die für VBA Gültigkeit haben (siehe Kapitel 3.2.1).

In Kapitel 3.2.2 bis 3.2.4 wird auf Quellen verwiesen, die sich mit der Wirksamkeit von VBA auseinandersetzen. Falls verfügbar wird auf bereits bestehende Verfahren zur Wirkungsermittlung zurückgegriffen.

#### 3.2.1 VBA-Kategorien übergreifende Normen und Richtlinien

VBA-Kategorien übergreifende Regelwerke zur Errichtung und Gestaltung von VBA sind:

- Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) [BASt, 2002]
- Richtlinie für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen (RWVA) [BMV, 1997a]

- Richtlinien für Wechselverkehrszeichen an Bundesfernstraßen (RWVZ) [BMV, 1997b]
- Merkblatt zur Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ) [BASt, 1999]
- Straßenverkehrsordnung (StVO) [BMVBS, 2005]
- Richtlinien für wegweisende Beschilderung auf Autobahnen (RWBA) [BMV, 1986]

Betreut durch den FGSV AK 3.2.6 wird zurzeit ein „Integriertes Regelwerke für Verkehrsbeeinflussung außerorts“ erstellt.

#### 3.2.2 Netzbeeinflussungsanlagen

Zusätzlich zu den bereits genannten Normen und Richtlinien ist für die Gestaltung einer NBA das folgende Hinweispapier relevant:

„Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta), Hinweise für die einheitliche Gestaltung und Anwendung auf Bundesfernstraßen“ [BASt, 2004a]

Hinweise für eine Wirkungsschätzung von NBA sind in den Normen und Richtlinien nicht beschrieben. Bisherige Untersuchungen zur Wirkungsanalyse von NBA thematisieren die Quantifizierung der räumlich verlagerbaren Verkehrsanteile bzw. bestimmen innerhalb von Kosten-Nutzen-Analysen Effizienz und Kosten von NBA.

Da die Wirkungen von NBA-Maßnahmen von vielen Einflüssen abhängen, wird im „Leitfaden Verkehrstelematik“ [BMVBS, 2006] empfohlen, Wirkungsanalysen situationsbezogen durchzuführen. Durch die Verhinderung oder zeitliche Verkürzung von Staus lassen sich kollektive Reisezeitgewinne erzielen.

In Kühne et al. [1998] werden die verlagerbaren Verkehrsanteile des Verkehrs auf einer Route mit 5 bis 15 % beziffert. Wird die Umleitung mit der Anzeige „Stau“ begründet, erhöht sich der Anteil nach diesen Angaben auf 10 bis 20 %.

In „Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen“ [BASt, 2008] wurden bekannte Methoden und Verfahren zur Bestimmung des Befolungsgrades von Alternativroutenempfehlungen an NBA untersucht. Demnach sind individuelle, situative und verkehrliche Einflüsse jeder NBA heterogen und es treten starke zufällige Schwankungen der Zusammensetzung des zu beeinflussenden Verkehrsstromes auf. Dadurch wird die Bestimmung des Befolungsgrades mit einem allgemeingültigen und auf andere Anlagen übertragbaren Verfahren schwierig.

Im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Untersuchung für die WWW-Anlage Rhein/Main war es nicht möglich, Auswirkungen der WWW auf das

Unfallgeschehen festzustellen [BMV, 1981]. Dies liegt u. a. daran, dass bei einer aggregierten und nicht differenzierten Betrachtung viele Einflüsse, die nicht mit der WWW in Zusammenhang stehen, das Unfallgeschehen so stark bestimmen, dass sie die Auswirkungen der WWW überschatten. Da die Unfallzahlen nicht von den verschiedenartigen, zeitlich nicht immer abgrenzbaren Einflüssen bereinigt werden können, ist auch für das Unfallgeschehen keine Basis für einen Vorher-Nachher-Vergleich gegeben. Bei einer globalen Betrachtung ist, da die Alternativroute länger ist als die Normalroute, unter Voraussetzung gleicher Unfallraten und Verkehrsbelastungen, auf Grund der größeren erforderlichen Fahrleistungen eine höhere Unfallanzahl bei aktiver WWW auf der Alternativroute zu erwarten. In einem Mit-Ohne-Vergleich wurde durch eine Verknüpfung der stündlichen Verkehrsstärke zum Zeitpunkt des Unfalls am Unfallort die Unfallrate detailliert analysiert: für die im Netz befindlichen Fahrzeuge bedeutet dies eine allgemeine Erhöhung der Fahrleistung je Zeiteinheit. Dies entspricht den empirischen Erkenntnissen nach einer Erhöhung der Unfallzahlen.

### 3.2.3 Streckenbeeinflussungsanlagen

Pischner et al. [2003] untersuchten SBA hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Verkehrsfluss.

Es konnte eine deutlich geringere Zusammenbruchswahrscheinlichkeit des Verkehrsflusses mit einer SBA festgestellt werden. Weiterhin wurde eine Erhöhung der mittleren Geschwindigkeiten um 10 % bzw. um 10-15 km/h konstatiert. Diese durch den Einsatz von SBA erwirkte Erhöhung der Geschwindigkeit wurde ebenfalls bei Kühne, et al. [1998] festgestellt.

Schick [2003] und Pischner et al. [2003] konnten keine signifikante Auswirkung der SBA auf die Kapazität nachweisen. Die Kapazität steigt mit einer temporären Seitenstreifenfreigabe deutlich an [Schick, 2003].

Brilon und Zurlinden stellten fest [2004], dass die Kapazität auf BAB keine feste sondern eine variable Größe ist. Außerdem wurde festgestellt, dass die Kapazität bei Nässe um etwa 14 % geringer ist als bei Trockenheit.

Das Unfallgeschehen im Bereich von SBA ohne Seitenstreifenfreigabe wurde in Siegner et al. [2000] untersucht. Siegner [2000] konstatiert einen Rückgang der Unfallrate auf 12 Unfälle je 10<sup>8</sup> Fahrzeugkilometer für zwei bzw. zwei- bis dreistreifige Abschnitte. Sind die Unfallraten ohne SBA bereits geringer als die angegebenen Werte, dann wird davon ausgegangen, dass sich die SBA neutral auf die Verkehrssicherheit auswirkt.

Zusätzlich konstatierten Siegner et al. [2000] einen Rückgang der Nebelunfälle um 80 %.

Nagl et al. [2008] berichten von einer deutlichen Reduzierung der Unfallzahlen. Hier wurde am Beispiel der VBA der ASFINAG in Tirol für SBA ein trendbereinigter Rückgang der Unfälle mit Schwerverletzten von 41 auf 14 pro Jahr bzw. ein Rückgang der Unfälle mit Leichtverletzten von 153 auf 67 pro Jahr verzeichnet. Die Zahl der Getöteten stieg von 2,1 auf 2,9 pro Jahr. Es gab streckenweise eine Gesamtreduktion der Unfälle um 40 %. Der Untersuchungszeitraum entsprach für den Vorher-Zeitraum 3 Jahre und für den Nachher-Zeitraum 14 Monate.

Die Auswirkungen von Seitenstreifenfreigaben auf die Verkehrssicherheit wurden von [Arnold, 2001], [Dammann, 2003] und [Lemke, 2007] untersucht.

In [Arnold, 2001] wurde ein Rückgang der Verkehrssicherheit für Ballungsräume mit einem Lkw-Anteil größer 10 % konstatiert. In [Dammann, 2003] wurde diese Auffassung kritisiert, gestützt auf neue Auswertungen auf der A 7. [Lemke, 2007] untersuchte aufgrund dieser Divergenz den Aspekt erneut anhand von Testdaten der Bundesautobahnen A 4, A 6 und A 7. Hier wurde festgehalten, dass in Folge einer Seitenstreifenfreigabe die Unfallrate für Unfälle mit schweren Personenschäden 0,03 Unfälle je 1 Mio. Fahrzeugkilometer und für Unfälle mit leichtem Personenschaden und schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden 0,13 Unfälle je 1 Mio. Fahrzeugkilometer beträgt. Dies gilt für die Regelquerschnitte RQ 26, RQ 29,5 und RQ 35,5. Die hier vorgeschlagenen Werte werden als Prognosewerte der Sicherheitsauswirkung für Seitenstreifenfreigaben außerhalb von Ballungsräumen empfohlen. Der Einfluss der Maßnahme wird aus der Differenz dieser Werte und den Unfallraten ohne Seitenstreifenfreigabe berechnet. Liegen die Unfallraten bereits vor der Umnutzungsmaßnahme unter diesen Werten, wird davon ausgegangen, dass sich die Maßnahme neutral auf die Verkehrssicherheit auswirkt. Negative Einflüsse einer SBA auf die Verkehrssicherheit sind derzeit nicht bekannt.

### 3.2.4 Knotenbeeinflussungsanlagen

#### Variable Fahrstreifen-zuteilung

Zur Umsetzung einer variablen Fahrstreifen-zuteilung wird neben den in Kapitel 3.2.1 erwähnten Richtlinien folgende KBA-spezifische Richtlinie benötigt:

Richtlinien für wegweisende Beschilderung auf Autobahnen (RWBA) [BMV, 1986]

Hinweise zur variablen Fahrstreifen-zuteilung finden sich in [FGSV, 2003]. Diese Hinweise sollen bei Planung, Bau und Betrieb dieser Anlagen als Hilfsmittel dienen.

Folgende Erfahrungen wurden für in Deutschland bereits bestehende Anlagen notiert:

Am Autobahnkreuz (AK) Köln-Ost / Leverkusen konnte durch die KBA eine gleichmäßigere Fahrstreifenauslastung vermerkt werden. Der Befolgungsgrad von KBA-Anzeigen kann höher sein, als bei SBA-Maßnahmen. Des Weiteren wird die Aufmerksamkeit am Knotenpunkt durch Fahrstreifensperrungen erhöht.

Weitere Anlagen finden sich am Nordwestkreuz Frankfurt/M., Autobahndreieck (AD) Charlottenburg und AK Köln-West. Für diese Anlagen liegt kein Erfahrungsbericht bezüglich der Wirksamkeit vor.

Für eine variable Fahrstreifenzuteilung sind derzeit noch keine Wirkungsschätzungen belegt worden. Es wurde im Rahmen einer Diplomarbeit am Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München [Siebentritt, 2007] eine simulationsgestützte Wirkungsbetrachtung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung an der A 9/A 99 am AK München-Nord ergaben im Untersuchungsgebiet durch eine verkehrsabhängige Steuerung eine Reisezeitenverkürzung um bis zu 38 %. Die Verkehrssituation am Knotenpunkt kann durch variable Fahrstreifenzuteilung verbessert werden [Siebentritt, 2007].

**Zuflussregelung**

Für die Bemessung einer ZFR werden zusätzlich zu den in Kapitel 3.2.1 genannten Regelwerken und Normen die „Hinweise für die Erstellung von Zuflussregelungsanlagen“ [FGSV, 2007a] berücksichtigt. In der Entwurfsfassung finden sich folgende Regelwerke wieder, die zu beachten sind:

- Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) [FGSV, 1992/Aktualisierung 1997]
- Richtlinien für wegweisende Beschilderung auf Autobahnen (RWBA) [BMV, 1986]

Des Weiteren finden sich Anweisungen zu Schalungsalgorithmen im „Handbook of Ramp Metering“ [Papageorgiou, 2007].

Derzeit gibt es wenige Programme oder Verfahren die sich mit der Vorabschätzung der Wirksamkeit von KBA beschäftigen. Auch in den USA gibt es derzeit keine einheitlichen Verfahren, nach denen bestimmt wird, ob der Bau einer KBA notwendig ist. Aus diesem Grund wurde für den Bundesstaat Wisconsin ein Verfahren namens *Wisconsin Ramp Analysis Tool (WRAT)* entwickelt. Dieses Analyse Tool bestimmt, ob der Bau einer ZFR erforderlich ist und es soll USA-weite Anwendung finden. In den USA hat eine KBA in Form einer ZFR, neben den in Deutschland bekannten Kriterien der Verbesserung des Verkehrsablaufs und Erhöhung der Verkehrssicherheit, die Aufgabe einer Sperrung der Zufahrt auf die HFB, wenn ein Störfall vorliegt, oder die Wetterbedingungen eine Sperrung der Fahrbahn erfordern. Das Verfahren wägt nach 4 Kriterien den Bedarf einer KBA ab. Die Kriterien

beziehen sich auf die Verkehrsstärken der HFB sowie der Rampe und auf die Geschwindigkeit auf der HFB. Ein weiteres Kriterium ist die Verkehrssicherheit. Nachfolgende Abbildung 3-1 zeigt die Grenzwerte für die 4 Kriterien.

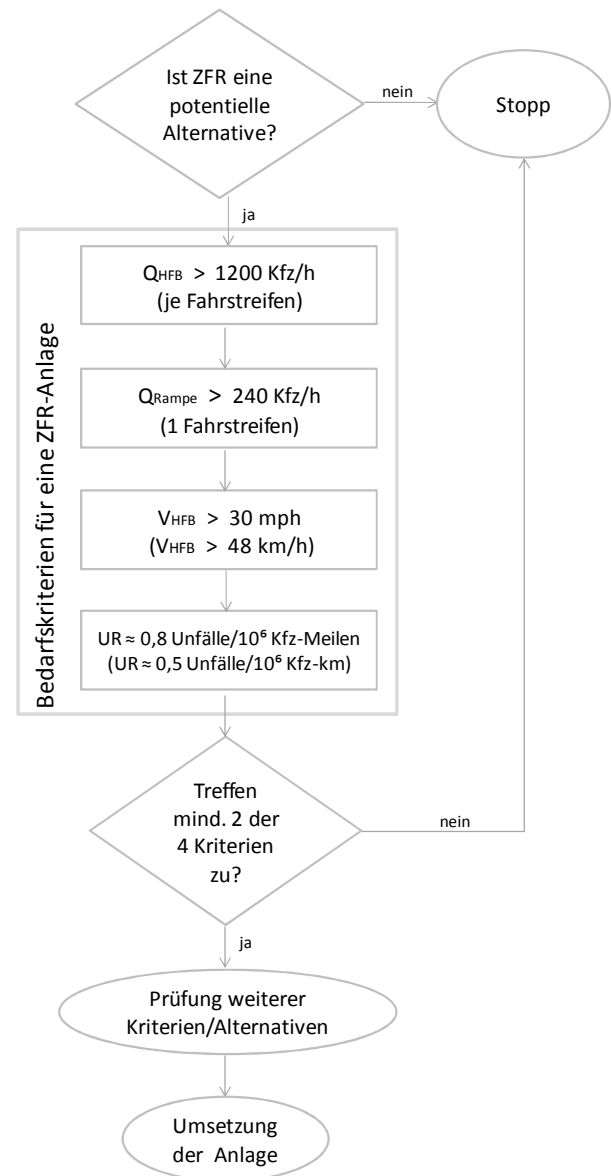


Abbildung 3-1: Bedarfskriterien für eine KBA, nach WRAT [Hochmuth J. et al, 2006]

An manchen Stellen ist es schwierig, die o.g. Kriterien zu ermitteln, da keine Datengrundlage besteht, in diesen Fällen werden weitere Kriterien betrachtet, die in Deutschland keine Anwendung finden. Zusätzliche Kriterien für den Bedarf einer KBA sind dabei, die Häufigkeit des Eintretens kurzzeitiger und langzeitiger Sperrungen. Für die kurzzeitigen Sperrungen (weniger als 8 Stunden), ist eine gleichartige Häufigkeit der Sperrung von entweder 3 Sperrungen innerhalb von einem Jahr oder eine Kurzzeitsperrung innerhalb von 3 Jahren erforderlich. Tritt eine Langzeitsperrung von mehr als 8 Stunden und weniger als 2 Wochen auf, so



reicht ein einmaliges Ereignis aus, um eine ZFR-Anlage zu installieren [Hochmuth J. et al, 2006].

In Europa kommen KBA in Form von ZFR in Frankreich, den Niederlanden und Großbritannien zum Einsatz. In Deutschland werden ZFR vor allem in Nordrhein-Westfalen betrieben [BASt, 2001].

1998 wurden auf der A 40 mehrere Pilotanlagen in Betrieb genommen [BASt, 2001]. Die untersuchte VBA bestand aus einer SBA sowie 5 ZFR. Nach Inbetriebnahme der Anlage traten auf dem Streckenabschnitt weniger Störungen sowie weniger Unfälle mit Personenschaden auf. Durch geringeres Auftreten von sog. Schockwellen (Stoßwellen, die an den Übergängen zwischen verschiedenen Verkehrszuständen entstehen) wurden Geschwindigkeitseinbrüche bei hohem Verkehrsaufkommen gedämpft und das Geschwindigkeitsniveau auf der HFB um etwa 10 km/h angehoben. Die Leistungsfähigkeit auf der A 40 konnte besser ausgenutzt werden. Es wurde beobachtet, dass an Knotenpunkten mit Beeinflussung Verstöße bei der Zufahrt auf die HFB, in Form von Hereinschneiden über die Inselfspitze oder Nutzung des Seitenstreifens für den Einfädelungsvorgang, deutlich rückläufig sind. Negative Auswirkungen auf das nachgeordnete Netz konnten nicht festgestellt werden. Verkehrsverlagerungen und Rückstaus über die Rampenlänge hinaus wurden kaum beobachtet. Die Erkenntnisse aus der Untersuchung der Pilotanlage an der A 40 sind z. T. schwer einer Anlagen-Kategorie zuzuweisen, da die beiden Anlagen so kurz nacheinander in Betrieb gingen, dass die Inbetriebnahme der KBA mit der Eingewöhnungsphase der SBA zusammenfiel. Für die Bewertung der beiden Anlagen-Kategorien wurden Zeiträume von einem halben Jahr für die Verkehrssicherheitsanalyse und einige Tage für die Verkehrsflussanalyse herangezogen. Ergänzend wurden Video-beobachtungen an den 5 Zufahrten sowie entlang der Strecke durchgeführt [BASt, 2001].

Derzeit befinden sich etwa 80 Anlagen in NRW in Betrieb. Die Erfahrungen an den Anlagen zeigen, dass sich die Geschwindigkeit auf der HFB erhöht hat und der Verkehrsablauf durch KBA stabilisiert wird.

Trapp [2006] untersuchte simulativ die Wirkung von unterschiedlichen KBA-Schaltungsalgorithmen, wie PRO, Festzeitsteuerung (FZS), ALINEA sowie den Fall ohne Beeinflussung durch ZFR. Nachfolgende Tabelle 3-3 zeigt die Wirkungen der unterschiedlichen Schaltungsalgorithmen nach einer Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) [EWS, 1997]. Den Berechnungen für die NKA ist eine Auftretenswahrscheinlichkeit von relevanten Belastungsfällen von 200 pro Jahr zu Grunde gelegt, sowie eine hohe Belastung auf der HFB und der Rampe.

[€/a]	PRO	FZS	ALINEA
Unfallkosten	69.100	154.300	205.600
Zeitkosten	91.000	126.000	140.000
Reisezeit-schwankungen	8.050	27.650	19.425
Verbrennung Kraftstoff	-1.020	510	1.190
Gesamtnutzen	167.130	308.460	366.215

Tabelle 3-3: Gegenüberstellung des Nutzens unterschiedlicher Algorithmen in €/a [Trapp, 2006]

Zusammenfassend konnte bei der simulativen Untersuchung festgestellt werden, dass beim Einsatz von allen Algorithmen ein Rückgang der Reisezeiten auf der HFB und ein signifikanter Anstieg der Reisezeit für die Einfahrenden vermerkt werden kann. Eine KBA bewirkt positive Wirkung für ausfahrende Fahrzeuge an dem Knotenpunkt. Geschwindigkeitseinbrüche nehmen im Einfahrtsbereich ab. Der Verkehrsablauf wird durch eine ZFR homogenisiert. All diese positiven Wirkungen sind unabhängig vom Schaltungsalgorithmus in unterschiedlich starker Ausprägung zu beobachten [Trapp, 2006].

In den Niederlanden konnte ermittelt werden, dass durch ZFR die Reisezeit auf der HFB um 3-10 % verringert und die Geschwindigkeit um ca. 5-30 km/h erhöht werden konnte. Bezüglich einer Kapazitätsverbesserung konnten keine signifikanten Auswirkungen festgestellt werden. Die Kapazitätserhöhung variierte im Bereich von 1-5 %. Die Ergebnisse sind aus 39 evaluierten Anlagen in den Niederlanden zusammengefasst [Kotsialos et al., 2004]. Bei allen Anlagen wurde festgestellt, dass Rotlichtverstöße ohne Überwachung durch Kameras bei 15 % lagen und mit Überwachungsanlagen auf 2 % zurückgehen [Kotsialos et al., 2004].

In Australien befinden sich derzeit 16 ZFR-Anlagen um die Stadt Melbourne. Zur Steuerung wird meist der ALINEA-Algorithmus in einer angepassten Variante angewendet. Die Wirksamkeit von ZFR wird mit einem Gewinn an gesteigertem Durchfluss von 10 % zu Hauptverkehrszeiten angenommen. Für eine Prognose der Wirksamkeit wird diese mit Hilfe von strategischen Modellen berechnet. Untersuchungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit liegen nicht vor [Interview mit VicRoads, 30.09.2008].

In den USA ist die Art der Verkehrsbeeinflussung mittels ZFR weiter verbreitet als in Europa. Viele Evaluationen fanden vor 1995 statt. In Folge von kontinuierlich wachsendem Verkehrsaufkommen sind erneute Wirkungsschätzungen nötig. Es kann festgehalten werden, dass durch die Inbetriebnahme von ZFR die Geschwindigkeit auf der HFB ansteigt und die Kapazität der Streckenabschnitte



erhöht werden kann. Zusätzlich wurden Rückgänge in der Anzahl an Verkehrsunfällen festgestellt. Auch in den USA ist bei einigen Anlagen keine genaue Trennung zwischen den Wirkungen einer SBA oder KBA erkennbar. [U.S. DoT, 1996]

Das U.S. Department of Transportation veröffentlicht im „Ramp Management and Control Handbook“ [US DoT, 2006] die Wirkung einiger Anlagen bezüglich Verkehrssicherheit (siehe Tabelle 3-4) und Verkehrsfluss (siehe Tabelle 3-5).

Lage	Wirkung bzgl. Verkehrssicherheit
Portland	43 % reduzierte Stauungen zur Spitzenstunde
Minneapolis	24 % reduzierte Stauungen zur Spitzenstunde
Denver	50 % reduzierte Auffahrunfälle und Unfälle mit seitlichem Zusammenstoß
Detroit	50 % reduzierte Unfälle und 71 % reduzierte Unfälle mit Verletzten
Long Island	15 % reduzierte Unfallrate

Tabelle 3-4: Sicherheitsgewinn durch ZFR in USA [U.S. DoT, 2006]

In den USA konnte eine deutliche Reduktion der Unfälle festgestellt werden. Die Unfälle, die in dieser Studie zusammengefasst wurden, sind meist im Stau entstanden. Durch die Fragmentierung von einfahrenden Fahrzeugpuls und die bessere Nutzung von Zeitlücken auf der HFB kann der Beginn von Stauungen auf der HFB herausgezögert und somit Auffahrunfälle vermieden werden.

Lage	Wirkung bzgl. Verkehrsfluss
Portland	173 % Erhöhung der mittleren Reisegeschwindigkeit
Minneapolis	16 % Erhöhung der mittleren Reisegeschwindigkeit zur Spitzenstunde 25 % Erhöhung der Kapazität zur Spitzenstunde
Seattle	52 % Reduzierung der mittleren Reisezeit 74 % Erhöhung der Kapazität
Denver	57 % Erhöhung der mittleren Reisegeschwindigkeit zur Spitzenstunde 37 % Reduzierung der mittleren Reisezeit
Detroit	8 % Erhöhung der mittleren Reisegeschwindigkeit 14 % Erhöhung der Kapazität
Long Island	9 % Erhöhung der mittleren Reisegeschwindigkeit

Tabelle 3-5: Wirkungen bzgl. des Verkehrsflusses durch ZFR in USA [U.S. DoT, 2006]

Die Wirkungen des verbesserten Verkehrsflusses auf der HFB lassen sich anhand der Reisegeschwindigkeiten oder Reisezeiten ableiten. Bei-

spielsweise erhöhte sich die Geschwindigkeit in Portland von 26 km/h auf 66 km/h [U.S. DoT, 2006].

## 4 Entwicklung von Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung

### 4.1 Grundlagen

Die neu entwickelten Verfahren werden zur Schätzung der Wirksamkeit noch nicht bestehender Anlagen verwendet. Die Verfahren sind deshalb einfach und praxistauglich gestaltet. Die Verfahren können jeweils in 2 unterschiedlichen Detaillierungsgraden durchgeführt werden. Diese wären ein „vereinfachtes“ Verfahren mit groben Datenquellen und einigen Annahmen und ein „ausführliches“ Verfahren, dass in der Datenbeschaffung z.T. ausführlicher ist und somit genauere Ergebnisse liefert. Nachfolgend werden in den Kapiteln 4.2, 4.3 und 4.4 die jeweiligen Verfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit hinsichtlich Verkehrssicherheit für NBA und KBA, sowie des Verkehrsflusses für KBA beschrieben. Ein Ansatz für das Verfahren bringt den Einstieg, anschließend werden die Verfahrensprinzipien erläutert. Das letzte Kapitel beschreibt die Verfahrensschritte, die bei der Anwendung der Verfahren nacheinander abgearbeitet werden.

Übergreifend werden kurz einige Begriffe, die für alle Verfahren Anwendung finden erläutert.

#### 4.1.1 Begriffsdefinitionen Verkehrssicherheit

In Deutschland ist die Archivierung von Verkehrsunfällen im Straßenverkehrsunfallgesetz (StVUnfStatG) gesetzlich geregelt [Statistisches Bundesamt, 2006]. In die Statistik gehen nur Unfälle ein, die von den Polizeidienststellen aufgenommen werden. Dabei wird zwischen mehreren **Unfallkategorien** unterschieden (siehe Tabelle 4-1). Für die vorgestellten Verfahren wird wegen der einheitlichen Erfassungsgrundlage nur auf die ersten vier Unfallkategorien eingegangen. Unfälle der anderen Unfallkategorien werden zum großen Teil nicht bei der Polizei gemeldet und somit nicht ausreichend erfasst.

Unfallkategorie	Unfallbeschreibung
1	Unfall mit Getöteten
2	Unfall mit Schwerverletzten
3	Unfall mit Leichtverletzten
4	Unfall mit schwerem Sachschaden

Tabelle 4-1: Berücksichtigte Unfallkategorien in den Verfahren

Die Unfallkategorie leitet sich aus dem größten Schaden, den mindestens ein Unfallbeteiligter erlitten hat, ab.

Desweiteren werden in der Unfallstatistik die Unfälle folgendermaßen klassifiziert:

**Unfalltyp**

Ein Unfalltyp beschreibt den konfliktauslösenden Moment aus dem der Unfall entstanden ist.

In Tabelle 4-2 werden die für die Verfahren relevanten Unfalltypen benannt.

Unfalltyp	Beschreibung
2	Abbiege-Unfall
3	Einbiege/Kreuzen-Unfall
6	Unfall im Längsverkehr
7	Sonstiger Unfall

Tabelle 4-2: Relevante Unfalltypen für die Verfahren

**Unfallart**

Die Unfallart beschreibt die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge zueinander beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn (Tabelle 4-3).

Unfallart	Beschreibung
1	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das anfährt, anhält oder steht
2	Zusammenstoß mit vorausfahrendem Fahrzeug
3	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug seitlich in gleicher Richtung
5	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das einbiegt

Tabelle 4-3: Relevante Unfallarten für die Verfahren

**Unfallursache**

Die Unfallursache beschreibt, welcher Umstand zu dem Unfall geführt hat. Nach Unfallstatistiken wird in 80 % der Unfälle menschliches Versagen aus eine der Ursachen angegeben [DIWA, 2007]. Es sind beispielsweise folgende Unfallursachen möglich:

- Fahrzeugführer
- Fahrzeug
- Fußgänger
- Umfeldbedingungen (Straßen- und Sichtverhältnisse)
- Alkoholeinfluss

Im Unfallbericht können bis zu 8 Unfallursachen festgehalten werden.

Zur Beschreibung und Vergleichbarkeit der Verkehrssicherheit werden nachfolgende Kenngrößen verwendet. Expositionsgrößen zur Relativierung der absoluten Unfallzahlen sind die Länge der Netzabschnitte und die Fahrleistung, ausgedrückt im durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV).

**Unfallrate (UR)**

Die Unfallrate UR beschreibt die durchschnittliche Anzahl an Unfällen bei der streckenbezogenen Fahrleistung. Die UR wird nach folgender Formel berechnet:

$$UR = \frac{U \cdot 10^6}{DTV \cdot L \cdot 365 \cdot t} \quad [U/Mio. Kfz - km]$$

Formel 4-1: Unfallrate

mit:

- UR Unfallrate [U/Mio. Kfz-km]
- U Anzahl der Unfälle nach Kategorie
- DTV Durchschnittlicher Tagesverkehr [Kfz/24h]
- L Länge des untersuchten Abschnitts [km]
- t Anzahl der betrachteten Jahre (meist 3)

**Unfallkosten (UK)**

Zur einheitlichen Beschreibung der Unfälle eignen sich die jährlich von der BASt veröffentlichten Unfallkostensätze für Personen- und Sachschäden (siehe Tabelle 4-4 und Tabelle 4-5) [BASt, 2004].

Unfallkategorie		Unfallkostensatz (Personenschaden)
1	Getötete	1.161.885,-€
2	Schwerverletzte	87.269,-€
3	Leichtverletzte	3.885,-€

Tabelle 4-4: Unfallkostensätze für Personenschäden je verunglückte Person [BASt, 2004]

Unfallkategorie		Unfallkostensatz (Sachschaden)
1	Getötete	28.450,-€
2	Schwerverletzte	13.808,-€
3	Leichtverletzte	10.038,-€
4	Schwerer Sachschaden	13.473,-€

Tabelle 4-5: Unfallkostensätze für Sachschäden [BASt, 2004]

Die Unfallkosten UK berechnen sich dann wie folgt:

$$UK = U(Kat.) \cdot \frac{Unfallkostensatz(Kat)}{t}$$

Formel 4-2: Unfallkosten

mit:

- UK Unfallkosten [€/a]
- U Anzahl der Unfälle nach Kategorie
- t Anzahl der betrachteten Jahre (meist 3)

**Unfallkostenrate (UKR)**

Die Unfallkostenrate beschreibt die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten, die bei

einer Fahrleistung von 1.000 Kfz-km entstanden sind. Die UKR berechnet sich nach folgender Formel:

$$UKR = \frac{UK \cdot 10^3}{DTV \cdot L \cdot 365 \cdot t} \quad [€/1.000 \text{ Kfz} - km]$$

Formel 4-3: Unfallkostenrate

mit:

UKR	Unfallkostenrate [€/1.000 Kfz-km]
UK	Unfallkosten [€/a]
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr [Kfz/24h]
L	Länge des untersuchten Abschnitts [km]
t	Anzahl der betrachteten Jahre (meist 3)

### Unfalldichte (UD)

Die Unfalldichte beschreibt die Anzahl der Unfälle pro Kilometer in einem Jahr.

$$UD = \frac{U}{L \cdot t} = \frac{UR \cdot DTV \cdot 365}{10^6} \quad [U/km \cdot a]$$

Formel 4-4: Unfalldichte

mit:

UD	Unfalldichte [U/km a]
UR	Unfallrate [U/Mio. Kfz-km]
U	Anzahl der Unfälle nach Kategorie
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr [Kfz/24h]
L	Länge des untersuchten Abschnitts [km]
t	Anzahl der betrachteten Jahre (meist 3)

### Unfallkostendichte (UKD)

Die Unfallkostendichte wird wie folgt berechnet:

$$UKD = \frac{UK}{L \cdot t} \quad [1.000 \text{ €/km} \cdot a]$$

Formel 4-5: Unfallkostendichte

mit:

UKD	Unfallkostendichte [1.000 €/km a]
UK	Unfallkosten [€/a]
L	Länge des untersuchten Abschnitts [km]
t	Anzahl der betrachteten Jahre (meist 3)

### Adressierbare Unfälle

Die adressierbaren Unfälle beschreiben die Summe der Unfälle, die durch eine Beeinflussungsmaßnahme angesprochen werden. Dies sind Unfälle, die bei Aktivierung der VBA wahrscheinlich nicht eingetreten wären. Unfälle, die aufgrund von menschlichem Versagen, wie beispielsweise Alkoholeinfluss, eingetreten sind, können

durch eine VBA-Maßnahme nicht beeinflusst werden und sind somit nicht als adressierbare Unfälle zu werten.

Beeinflussbare Unfälle sind eine Teilmenge der adressierbaren Unfälle. Ein „Abminderungsfaktor“, der beschreibt, wie viele Unfälle tatsächlich vermieden werden können, hängt von mehreren Einflussfaktoren ab. Das Fahrverhalten wird durch die persönliche Leistungsfähigkeit und Risikobereitschaft beeinflusst. Exogene (z.B. Trassierung) und endogene (z.B. Fahrzeugart) Faktoren spielen dabei ebenfalls eine wichtige Rolle. Die Einschätzung einer Gefahr erfolgt in mehreren Stufen [Zimolong, 1982]:

„Wahrnehmen → Erkennen → Einschätzen“.

Dieser sog. Einflussfaktor „Mensch“ lässt sich kaum in einer prozentualen Angabe, als „Abminderungsfaktor“, erfassen.

Deshalb wird das Wirkungspotential hinsichtlich der Verkehrssicherheit in vorliegender Arbeit anhand der adressierbaren Unfälle abgeschätzt.

### 4.1.2 Begriffsdefinitionen Verkehrsfluss

Für das neu entwickelte Verfahren zur Beschreibung der Wirkung von KBA wird ein Warteschlangenmodell verwendet. In der Warteschlangentheorie sind folgende Begriffe üblich:

Die Beschreibung eines Warteprozesses erfolgt nach der **Kendall-Notation**  $A/B/m$  [Kendall, 1953]. Dabei haben die einzelnen Buchstaben folgende Bedeutung:

A: Verteilungsart der Ankünfte

B: Verteilungsart der Bedienungszeiten

m: Anzahl der parallel geschalteten Bedienungsstellen (1, 2, ... ∞)

Die Ankünfte und Bedienungszeiten können deterministisch oder stochastisch verteilt sein. Dabei werden folgende Symbole in der Notation verwendet:

D: Deterministische Verteilung

M: Markov-Eigenschaften<sup>1</sup> (z.B. Poisson verteilt)

G: allgemeine (generelle) Verteilung

Zur Beschreibung des Warteprozesses werden Wartezeiten, die sich je nach Ankunfts- und Bedienungszeit unterschiedlich berechnen, angewendet. Wartezeiten, die sich in einem M/G/1-Modell ergeben, werden mit der Formel nach [Kimber, Hollis, 1979] berechnet:

<sup>1</sup>  $p(A,B,C) = p(A) p(B|A) p(C|B)$

Die Wahrscheinlichkeit des Zustands des darauffolgenden Ereignisses ist nur von dem unmittelbaren Vorgänger abhängig.

$$w_{M/G/1} = 0.5 \cdot \left[ \sqrt{D^2 + E} - D \right]$$

Formel 4-6: Wartezeit nach M/G/1

mit:

$$D = 0.5 \cdot (1 - \rho) - \frac{1}{\mu} \cdot (l_a - C + 2)$$

$$E = \frac{4}{\mu} \cdot \left[ 0.5 \cdot (1 - \rho) + 0.5 \cdot \rho \cdot C - \left( \frac{l_a + 1}{\mu} \right) \cdot (1 - C) \right]$$

mit:

$l_a$  Warteschlange zu Beginn des Betrachtungsintervalls [km]

$\mu$  Bedienungsrate

$\lambda$  Ankunftsrate

$\rho$  Auslastungsgrad ( $\rho = \lambda/\mu$ )

$C$  Konstante, Abhängig vom Serviceprozess

$$C = \frac{Var[\mu]}{Mittelwert[\mu]}$$

Formel 4-7: Konstante C für Wartezeitberechnung nach M/G/1

Die Wartezeit ( $w_u$ ), die unmittelbar aus der Sperrzeit der LSA verursacht wird, berechnet sich nach der Formel 4-8:

$$w_u = \frac{t_u/t_g}{t_u/t_g - \rho} \cdot \frac{(t_u - t_g)^2}{2 \cdot t_u}$$

Formel 4-8: Wartezeit bedingt durch Sperrzeit der LSA

mit:<sup>2</sup>

$w_u$  Wartezeit bedingt durch Sperrzeit der LSA [h]

$t_u$  Umlaufzeit der LSA [s]

$t_g$  effektive Freigabezeit der LSA [s]

$\rho$  Auslastungsgrad ( $\rho = \lambda/\mu$ ) [-]

Die Gesamtwartezeit  $W$  der Fahrzeuge ergibt sich zu:

$$W = (w_u + w_{M/G/1}) \cdot n_{Kfz}$$

Formel 4-9: Gesamtwartezeit (mit ZFR)

mit:

$W$  Gesamtwartezeit [h]

$w_{M/G/1}$  Wartezeit nach M/G/1 [h]

$w_u$  Wartezeit bedingt durch Sperrzeit der LSA [h]

$n_{Kfz}$  Anzahl der Kfz auf der Rampe [Kfz]

Die Länge der Warteschlange in einem M/G/1-Modell wird ebenfalls nach [Kimber, Hollis, 1979] berechnet:

$$l_{M/G/1} = 0.5 \cdot \left[ \sqrt{A^2 - B} - A \right]$$

Formel 4-10: Länge der Warteschlange nach M/G/1

mit:

$$A = \frac{(1 - \rho) \cdot \mu^2 + (1 - l_a) \cdot \mu - 2 \cdot (1 - C) \cdot (l_a + \rho\mu)}{\mu + (1 - C)}$$

$$B = \frac{4 \cdot (l_a + \rho\mu) \cdot [\mu - (1 - C) \cdot (l_a + \rho\mu)]}{\mu + (1 - C)}$$

mit:

$l_{M/G/1}$  Länge der Warteschlange nach M/G/1

$\rho$  Auslastungsgrad ( $\rho = \lambda/\mu$ )

$l_a$  Warteschlange zu Beginn des Betrachtungsintervalls [km]

$\mu$  Bedienungsrate

$C$  Konstante, Abhängig vom Serviceprozess (nach Formel 4-7)

## 4.2 NBA - Verkehrssicherheit

NBA zielen darauf ab, den Verkehrsablauf in einem Netz zu optimieren. Der durch NBA-Maßnahmen verfolgte Effekt eines Netzausgleichs zur Optimierung des Verkehrsflusses und zur Stauvermeidung hat zusätzlich einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit innerhalb der beeinflussten Netzmasche zur Folge. Da jedoch eine Verbesserung der Verkehrssicherheit im beeinflussten Netz nicht primäres Ziel einer NBA ist, sind je nach Ausprägung durch NBA-Maßnahmen unterschiedliche Wirkungen auf die Verkehrssicherheit möglich.

Eine Veränderung der Verkehrssicherheit durch NBA-Maßnahmen entsteht sozusagen als Nebenprodukt der wesentlichen Zielsetzung ‚Verkehrsfloptimierung‘. Um diesen Einfluss auf die Verkehrssicherheit qualitativ und quantitativ zu bestimmen, wird nachfolgend ein Verfahren vorgestellt, das den Einfluss von NBA auf die Verkehrssicherheit beschreibt.

### 4.2.1 Ansatz

Das Verfahren zur Vorabschätzung der Wirkungen von NBA auf die Verkehrssicherheit basiert auf

<sup>2</sup> Umrechnungswerte, die zur genauen Einheit erforderlich sind, sind in dieser Formel nicht explizit vermerkt

einem Vergleich der jährlichen UK ohne und mit Einsatz von NBA-Maßnahmen. In vielen Fällen ist für den Vorher-Nachher-Vergleich der erforderliche Umfang an Unfalldaten nicht vorhanden. Bei geplanten NBA liegen keine Unfalldaten für den Ausbauzustand vor und bei existierenden NBA sind oftmals Umfang und Qualität der Daten nicht ausreichend. Daher bietet sich für die Unfallkostenermittlung ein Ansatz an, der das Unfallgeschehen ohne und mit NBA in Bezug zum Verkehrsgeschehen setzt.

Die Verkehrsstärke auf den einzelnen BAB-Netzabschnitten der beeinflussten Netzmaschen - sowohl auf der Normalroute (meist fahrzeit-kürzeste Route einer Quelle-Ziel-Beziehung) als auch der Alternativroute - ist in Form des DTV bekannt. In „Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen“ [BAST, 2002] ist beschrieben, wie aus dem DTV stündliche Verkehrsstärken mit Hilfe von Referenzganglinien für unterschiedliche Tagestypen abgeleitet werden können.

Durch Ermittlung der verkehrsszenariospezifischen Beeinflussungspotentiale (Verkehrsmenge, die eine Route zwischen Entscheidungs- und Zielpunkt ganz durchfährt) für die zu untersuchenden Entscheidungspunkte können die Verkehrsstärken auf Normal- und Alternativroute bestimmt werden (siehe Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung hinsichtlich Verkehrsfluss; [FGSV, 2007b]).

Der Zusammenhang zwischen stündlicher Verkehrsstärke und dem Unfallgeschehen auf BAB wurde in „Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen“ [BAST, 2003] analysiert. Seit 1991 werden streckenbezogene Analysen des Unfallgeschehens auf BAB im Auftrag des BMVBS von der BAST durchgeführt. Bei Verwendung von stündlichen Verkehrsstärken als Berechnungsgrundlage für die Unfallraten ergeben sich deutliche funktionale Zusammenhänge. Die höchsten Unfallraten ergeben sich grundsätzlich bei extrem niedrigen stündlichen Verkehrsstärken.

Abbildung 4-1 stellt die UR in Abhängigkeit von der stündlichen Verkehrsstärke für Unfälle mit Schwerverletzten und Unfälle mit Leichtverletzten dar. Alle ermittelten Unfallkenngrößen beziehen sich auf die Unfallkategorien 1 bis 4 (siehe Tabelle 4-1) [BAST, 2003].

Mit zunehmender Verkehrsstärke sinken die Raten bis etwa zu dem Verkehrsstärkebereich, in dem die höchsten Fahrleistungsanteile erbracht werden. Ab diesem Wert sind Unterschiede im Verlauf der Raten für Unfälle mit Leichtverletzten (URLV) und Unfälle mit schwerem Personenschaden (URSP) bzw. für die schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden zu erkennen. Während die Rate für Unfälle mit Leichtverletzten wieder zunimmt, ist für die anderen Raten ein weiterer Rückgang zu verzeichnen.

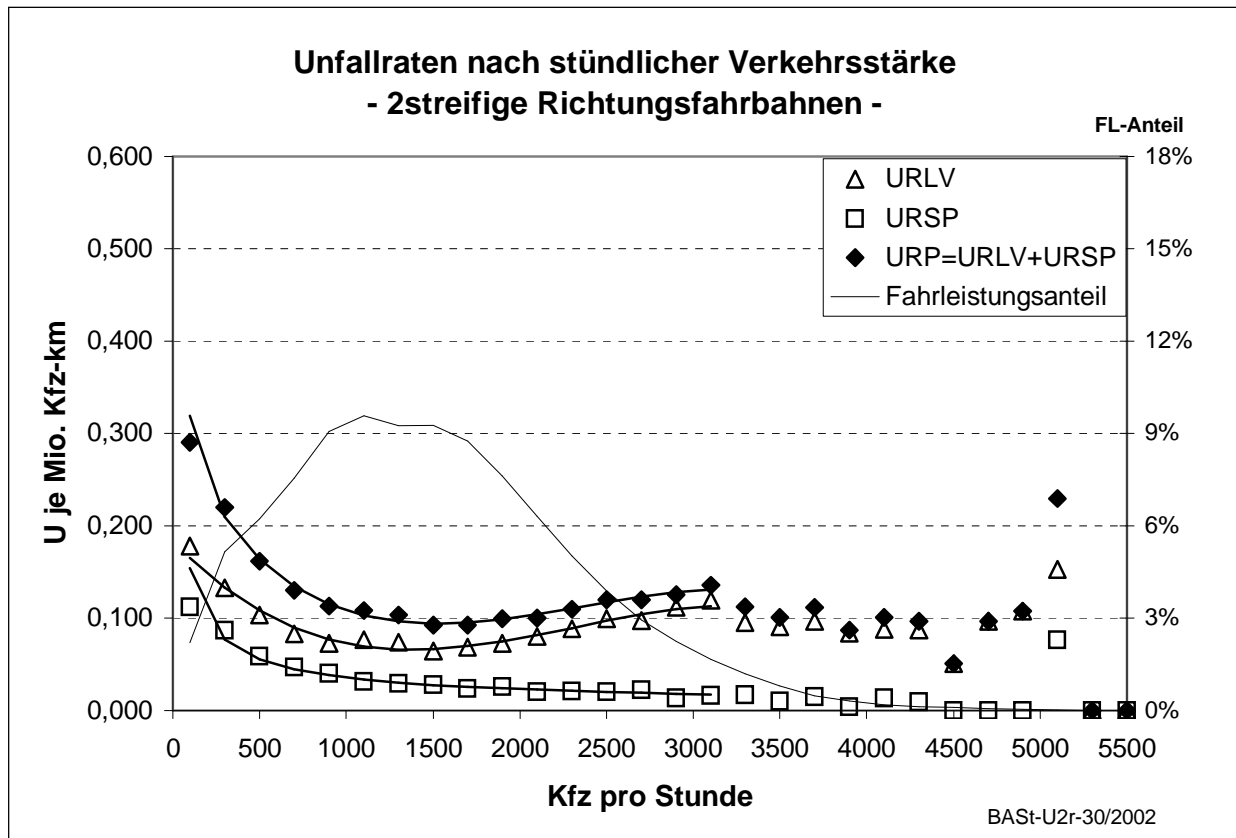


Abbildung 4-1: UR mit Personenschäden bezogen auf die stündliche Verkehrsstärke – 2-streifige Richtungsfahrbahn [BAST, 2003]

Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen stündlicher Verkehrsstärke und dem Unfallgeschehen wurden UK für den Zeitraum 1997 bis 2000 betrachtet. Für diesen Untersuchungszeitraum wurden die Unfälle zusammengefasst und angepasste Unfallkostensätze aufgrund der mittleren Unfallstruktur des Zeitraumes 1997 bis 2000 und dem Kostenstand 2000 berechnet.

Bei vergleichenden Unfalluntersuchungen wird immer mit Unfallkostensätzen gerechnet, die auf das gleiche Basisjahr bezogen sind, auch wenn die durchschnittlichen Kosten sich innerhalb des betrachteten Untersuchungszeitraumes erheblich geändert haben sollten. Dazu wird empfohlen, jeweils den Kostensatz des Jahres 2000 zu verwenden [Hessisches Landesamt für Straßen- und Ver-

kehrswesen, 2006]. Um eine Vergleichbarkeit zu Untersuchungen weiterer VBA-Typen herstellen zu können, die sich auf Untersuchungszeiträume vor oder nach 2000 beziehen, müssen die ermittelten Unfallkosten der NBA mit der entsprechenden Änderung der Unfallkostensätze hochgerechnet werden.

In [BAST, 2003] wird die UKR differenziert nach den Kostenraten der Unfälle mit Personenschäden und den Kostenraten der insgesamt untersuchten Unfälle. Der ermittelte funktionale Zusammenhang zwischen den UKR und der stündlichen Verkehrsstärke ist in Abbildung 4-2 (für 2-streifige BAB-Abschnitte) dargestellt und durch Formel 4-11 und Formel 4-12 beschrieben.

$$UKR(Kfz) = 15,027 \cdot \left(\frac{Kfz}{1000}\right)^{-0,5358} \quad (\text{€ pro Tsd. Fz} \cdot \text{km})$$

Formel 4-11: UKR nach der stündlichen Verkehrsstärke – 2-streifige Richtungsfahrbahn [BAST, 2003]

$$UKR(Kfz) = 19,146 \cdot \left(\frac{Kfz}{1000}\right)^{-0,5078} \quad (\text{€ pro Tsd. Fz} \cdot \text{km})$$

Formel 4-12: UKR nach der stündlichen Verkehrsstärke – 3-streifige Richtungsfahrbahn [BAST, 2003]

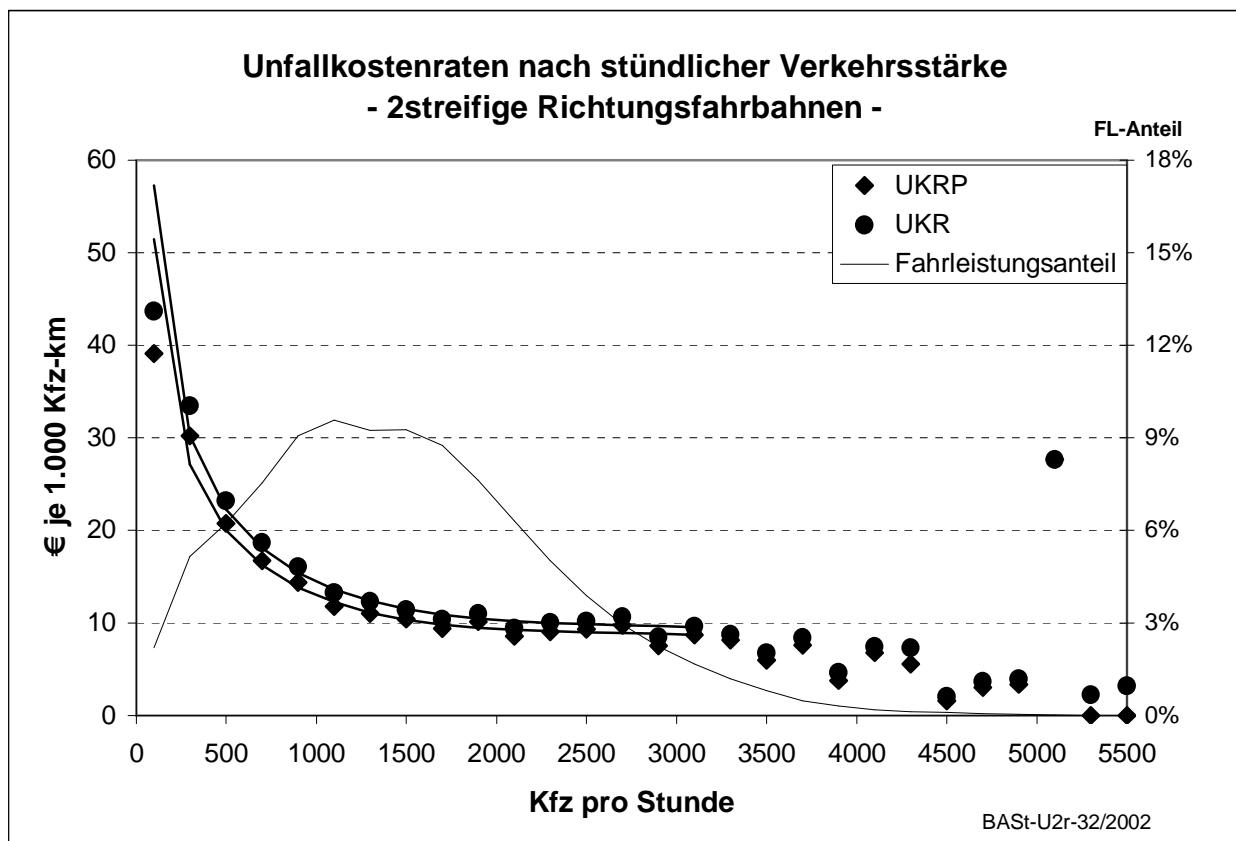


Abbildung 4-2: UKR bezogen auf die stündliche Verkehrsstärke – 2-streifige Richtungsfahrbahn [BAST, 2003]

Im Gegensatz zur UR, die ab der Verkehrsstärke mit dem größten Fahrleistungsanteil wieder ansteigt, sinkt die UKR kontinuierlich mit zunehmender Verkehrsstärke (vergleiche Abbildung 4-1 mit Abbildung 4-2). Dies ist auf die deutlich höheren Kostensätze für Unfälle mit Schwerverletzten im Vergleich zu den Kostensätzen für Unfälle mit Leichtverletzten und mit schwerwiegendem Sachschaden zurück zu führen. Unfälle mit Schwerverletzten beeinflussen trotz geringerer Häufigkeit den Verlauf der gesamten UKR am stärksten.

Die ermittelten funktionalen Zusammenhänge der Unfallkenngößen gelten für stabile Verkehrsstände mit noch fließendem Verkehr:

- zweistreifige Richtungsfahrbahn: 3.200 Kfz/h
- dreistreifige Richtungsfahrbahn: 4.500 Kfz/h

[BASt, 2003].

Bei sehr hohen Verkehrsstärken (Kolonnenverkehr bzw. Stop & Go) können bereits geringe Unregelmäßigkeiten zu erheblichen Störungen im Verkehrsablauf führen.

Für das Verfahren zur Vorabschätzung der Wirkungen von NBA auf die Verkehrssicherheit werden die in Formel 4-11 und Formel 4-12 beschriebenen verkehrsstärkeabhängigen Funktionen auch auf den Verkehrsablauf mit sehr hohen Verkehrsstärken angewendet. Diese Voraussetzung für das Verfahren wird durch folgende Sachverhalte begründet:

- Der Fahrleistungsanteil der betroffenen Verkehrsstärkeklassen ist mit 1-2 % relativ gering [BASt, 2003].
- Das Verfahren basiert auf DTV-Werten. Somit sind extrem hohe Verkehrsstärken, wie sie bei Einzelereignissen auftreten können, nicht zu erwarten.
- Die gemessenen UKR der betroffenen Verkehrsstärkeklassen entsprechen im Durchschnitt den Werten der Funktion annähernd genau. Sie liegen in den meisten Fällen leicht unterhalb den Funktionswerten.
- Im Stauzustand tendiert die UKR gegen Null.

#### 4.2.2 Verfahrensprinzip

Die Wirkungen einer NBA lassen sich durch die Änderung der UK innerhalb der Netzmasche bei Umleitung des beeinflussbaren Verkehrsanteils abschätzen. Dazu wird ein Verfahren entwickelt, das die UK abschnittsfein für die Fälle mit und ohne NBA vergleicht, sowohl auf der Normal- als auch auf der Alternativroute (Abbildung 4-3).

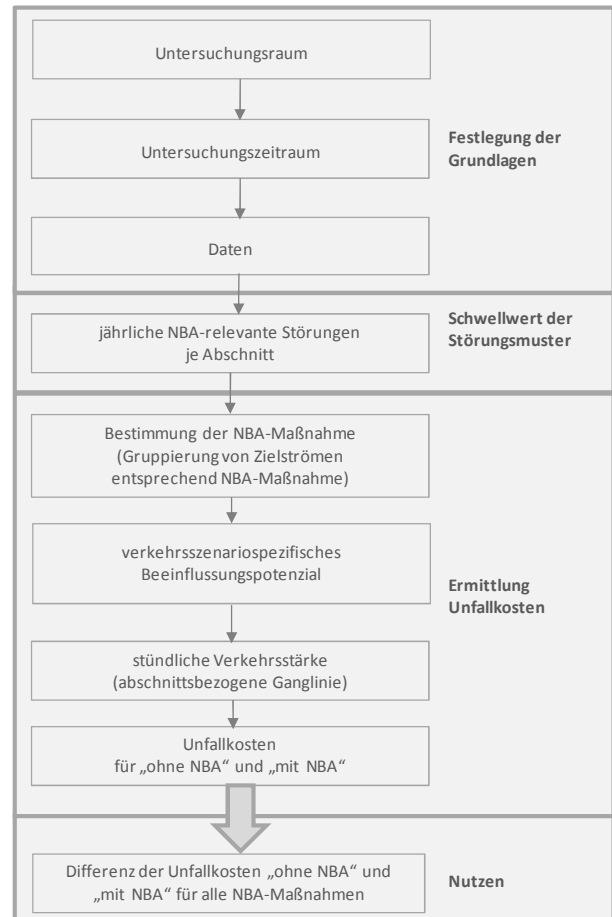


Abbildung 4-3: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirksamkeitsuntersuchung: Verkehrssicherheit NBA

Entsprechend der UKR in Abhängigkeit der Verkehrsstärke (Formel 4-11 und Formel 4-12) ergeben sich die UK für die Vergleichsfälle „ohne NBA“ und „mit NBA“ aus der Summe der Teilkosten je Tageszeitintervall.

Da die UKR auf der stündlichen Verkehrsstärke basiert, ergeben sich die jährlichen UK aus den Stundenintervallen mit NBA-relevanten Störungen pro Jahr. Die Summe der UK errechnet sich aus den abschnittsfeinen Teilsommen aller zu betrachtenden NBA-Maßnahmen.

$$UK = \sum_i UKR_i(q) \cdot q_i \cdot l \cdot E \cdot D \quad \left[ \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} \right]$$

Formel 4-13: Summe der Unfallkosten UK

mit:

UK Unfallkosten

UKR<sub>i</sub>(q) verkehrsstärkeabhängige Unfallkostenrate [1.000 €/Kfz-km]

q<sub>i</sub> abschnittsfeine Verkehrsstärke im Stundenintervall i unter Berücksichtigung aller NBA-Maßnahmen [Kfz/h].

- I Länge BAB-Abschnitt [km]  
 E Anzahl NBA-relevanter Störungen pro Jahr [Störungen/Jahr]  
 D mittlere Dauer der NBA-relevanten Störung [h/Störung]

Wichtig für das Verfahren ist die Bestimmung der NBA-relevanten Störungen mit Hilfe eines Schwellwertes, der die Reisezeitdifferenz auf Normal- und Alternativroute beinhaltet und die Reisezeit vom Entscheidungspunkt bis zum Ort der Störung berücksichtigt. Anschließend werden für das Verfahren die Häufigkeit und die Ausprägung (z. B. mittlere Dauer) der NBA-relevanten Störungen erfasst.

Die Wirkung einer NBA setzt sich meist aus mehreren NBA-Maßnahmen zusammen. Eine NBA-Maßnahme bezieht sich auf alle Zielströme am Entscheidungspunkt, die durch entsprechende Wegweisungsempfehlung bzw. -information der NBA umgeleitet werden können. Eine NBA-Maßnahme ist genau einer Netzmasche zugeordnet. Mehrere NBA-Maßnahmen können ein Schaltprogramm bilden. Die betroffenen Zielströme verlaufen vom Entscheidungspunkt bis zum Ende der Netzmasche und von da weiter bis zum Fernziel (siehe Abbildung 5-3).

Somit können in einer NBA-Maßnahme mehrere Fernziele gebündelt sein, sofern sie innerhalb der Netzmasche gemeinsam (um-)geleitet werden. Wichtige Nahziele einer NBA, die innerhalb des beeinflussten Netzbereiches liegen, formen kleinräumige Netzmaschen und sind deshalb als einzelne NBA-Maßnahmen zu berücksichtigen (sofern auf dem BAB-Netz umgeleitet wird).

Folglich ergibt sich die Wirkung einer NBA aus der Summe der Differenzen der UK „mit NBA“ und UK „ohne NBA“ für alle Abschnitte der gesamten Netzmasche (Normal- und Alternativroute):

$$\Delta UK = \sum_{\text{Abschnitt}} (UK_{\text{mit NBA}} - UK_{\text{ohne NBA}}) \left[ \frac{\text{€}}{\text{Jahr}} \right]$$

Formel 4-14: Wirkung einer NBA auf die Verkehrssicherheit

Bei einer positiven Differenz der Unfallkosten  $\Delta UK$  sinkt die Verkehrssicherheit durch Einsatz der NBA-Maßnahmen, bei negativem  $\Delta UK$  wird die Verkehrssicherheit durch Einsatz der NBA-Maßnahme erhöht.

## 4.2.3 Verfahrensschritte

Die Verfahrensschritte 4.2.3.1 bis 4.2.3.9 beziehen sich auf eine einzelne NBA-Maßnahme. In Schritt 4.2.3.10 werden die Einzelergebnisse summiert.

### 4.2.3.1 Untersuchungsraum

Festlegung des Untersuchungsraumes gemäß Kapitel 4.2 in "Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung (ex-ante) und Wirksamkeitsberechnung (ex-post) von Verkehrsbeeinflussungsanlagen" [FGSV, 2007b].

### 4.2.3.2 Untersuchungszeitraum

Festlegung des Untersuchungszeitraumes gemäß Kapitel 4.2. [FGSV, 2007b].

### 4.2.3.3 Daten

Für die Ermittlung der abschnittsfeinen UK („mit“ und „ohne“ NBA) sind Daten zur Netzmasche und zur Verkehrsstärke sowie zu Störungsereignissen im Netz, die NBA-Maßnahmen auslösen können, erforderlich. Abhängig von der Genauigkeit und vom Detaillierungs- bzw. Aggregationsgrad der Eingangsdaten lassen sich unterschiedlich feine Verfahrensergebnisse erzielen. In Tabelle 4-6 sind zu den für das Verfahren erforderlichen Datenarten die möglichen Quellen angegeben.

NBA-relevante Störungen werden abhängig vom Ort der Störung durch eine Mindestdauer bzw. durch einen zu definierenden Schwellwert bestimmt (siehe Verfahrensschritt 4.2.3.5). Eine NBA-relevante Störung ist räumlich durch Angabe des BAB-Abschnitts und der Fahrtrichtung hinreichend genau definiert. Für die Verknüpfung mit den tagestypabhängigen Verkehrsstärkedaten werden den Störungsdaten nach Möglichkeit Tagestypen zugeordnet und in Zeitfenster eingeordnet. Durch die Differenzierung der Störungen in Tagestypen und Zeitfenster wird die Genauigkeit des Verfahrens erhöht.

Eine Differenzierung der Störungsursache der NBA-relevanten Störungen ist nicht erforderlich. Störungen mit identischem Ort, Tagestyp und identischer mittlerer Dauer werden zu einem Störungsmuster gruppiert. Durch Bestimmung des typischen Zeitfensters des Störungsmusters werden die Störungen den stündlichen Verkehrsstärken genau zugeordnet. Das Zeitfenster muss größer sein als die mittlere Dauer des Störungsmusters.



	Eingangsdaten für Verfahren ( <i>Bemerkung</i> )	Quelle
Daten zur Netzmasche	Länge BAB-Abschnitt [km]	Kartenmaterial
	Anzahl Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn je Abschnitt <i>relevant für Wahl des funktionalen Zusammenhangs zwischen UKR und stündlicher Verkehrsstärke</i>	Kartenmaterial
	mittlere Kfz-Reisegeschwindigkeit [km/h] je Abschnitt	gemessene Detektordaten v85 aus RAS-L [FGSV, 1995]
Daten zur Verkehrsstärke	DTV [Kfz/24h] je Abschnitt	gemessene Detektordaten aus [BASt, 2005]
	Referenzganglinien (für Tagestypen)	gemessene Detektordaten z. B. aus [BASt, 2004b]
	Zielverkehr am Entscheidungspunkt [Kfz/24h] je NBA-Maßnahme <i>für verkehrsszenariospezifisches Beeinflussungspotential</i>	aus OD-Matrix
	Aufteilung der Zielströme am Entscheidungspunkt im ungestörten Zustand [%]	gemessene Detektordaten Strategie-Modell Expertenwissen
Daten zu NBA-relevanten Störungen	Häufigkeit Störungsmuster [Störungen/Jahr] <i>Ein Störungsmuster ist durch Ort (BAB-Abschnitt, Fahrtrichtung) und Tagestyp hinreichend genau definiert.</i>	gemessene Detektordaten Verkehrsmeldungen
	Mittlere Dauer des Störungsmusters [h/Störung]	gemessene Detektordaten Verkehrsmeldungen
	Typisches Zeitfenster des Störungsmusters <i>falls vorhanden, ansonsten zwischen 0 – 24 Uhr</i>	gemessene Detektordaten Verkehrsmeldungen

Tabelle 4-6: Eingangsdaten für Verfahren NBA: Verkehrssicherheit

#### 4.2.3.4 Mittlere Kfz-Reisezeit

Aus der BAB-Abschnittslänge und einer mittleren Kfz-Reisegeschwindigkeit wird die mittlere Kfz-Reisezeit je Abschnitt berechnet.

#### 4.2.3.5 NBA-relevante Störungen

Für die Zuordnung der jährlichen NBA-relevanten Störungen zu den einzelnen Abschnitten der Netzmasche wird je Abschnitt der Schwellwert der Störungsmuster ermittelt. Dieser setzt sich aus der mittleren Kfz-Reisezeit vom Entscheidungspunkt bis zum Abschnittsende und der Reisezeitdifferenz zwischen den beiden Routen R1 (= Normalroute) und R2 (= Alternativroute) zusammen. Störungen, die den Schwellwert nicht überschreiten, sind nicht NBA-relevant und werden somit für das Verfahren nicht berücksichtigt.

Je Abschnitt und Tagestyp wird die Anzahl der NBA-relevanten Störungen E und die mittlere Störungsdauer D bestimmt.

#### 4.2.3.6 NBA-Maßnahmen

Für eine NBA an einem Entscheidungspunkt sind die NBA-Maßnahmen nach den Zielströmen zu differenzieren, die durch entsprechende Wegweisungsempfehlung bzw. -information der NBA umgeleitet werden. Verkehrsströme zu Fernzielen, die die gesamte untersuchte Netzmasche durchlaufen, werden gebündelt. Für die NBA-Strategien relevante Verkehrsströme zu Nahzielen, die nur einen Teil der untersuchten Netzmasche durchlaufen, werden einzeln betrachtet.

#### 4.2.3.7 Verkehrsszenariospezifisches Beeinflussungspotential

Die einzelnen Zielverkehre einer NBA-Maßnahme werden den Routen R1 und R2 zugeordnet. Sie bilden die jeweiligen verkehrsszenariospezifischen Beeinflussungspotentiale (Verkehrsmenge, die eine Route zwischen Entscheidungs- und Zielpunkt ganz durchfährt). Wenn eine Aufteilung der betroffenen Ströme am Entscheidungspunkt auf beide Routen im ungestörten Zustand vorliegt, wird durch die bekannten Routenbefolgeraten die

Summe der Routenbefolgung für R1 und R2 im Normalzustand ermittelt.

Der beeinflusste (umgeleitete) Verkehr  $\Delta Q_{\text{Umgeleitet}}$  errechnet sich, nach Formel 4-15, aus allen Zielverkehren einer NBA-Maßnahme am Entscheidungspunkt DTV (NBA-Maßnahme) und der Befolgsrate der NBA-Maßnahme  $B$ .

$$\Delta Q_{\text{Umgeleitet}} = DTV(\text{NBA\_Maßnahme}) \cdot B$$

Formel 4-15: Beeinflusster Verkehr

Die Befolgsrate  $B$  ist abhängig von der Größe der Netzmasche und dem Umwegefaktor [FGSV, 2007, Kap. 4.3.2] definiert.

#### 4.2.3.8 Stündliche Verkehrsstärke

Die stündliche Verkehrsstärke (in Form von abschnittsbezogenen Ganglinien) wird aus dem DTV und den tagesstypischen Referenzganglinien ermittelt. Die Berechnung der stündlichen Verkehrsstärke ist nur für das Zeitfenster der Störungsmuster erforderlich.

#### 4.2.3.9 Unfallkosten

Gemäß Formel 4-13 werden für jedes Stundenintervall (innerhalb des definierten Zeitfensters) für die gesamte Netzmasche die jährlichen UK berechnet. Die Berechnungen werden für die Fälle „ohne NBA“ und „mit NBA“ getrennt nach den Tagestypen durchgeführt.

#### 4.2.3.10 Wirkung der NBA auf die Verkehrssicherheit

Mittels Formel 4-14 wird die jährliche Wirkung der NBA aus der Summe der Differenzen der Unfallkosten „mit NBA“ und „ohne NBA“ für alle NBA-Maßnahmen berechnet. Der funktionale Zusammenhang UKR ( $q$ ) bezieht sich auf den Preisstand des Jahres 2000 [BASt, 2003]. Um eine Vergleichbarkeit zu Untersuchungen weiterer NBA-Typen herstellen zu können, die sich auf Untersuchungszeiträume vor oder nach 2000 beziehen, werden die ermittelten Unfallkosten der NBA mit der entsprechenden Änderung der Unfallkostensätze hochgerechnet.

Der Nutzen einer NBA hinsichtlich der Verkehrssicherheit wird aus  $\Delta UK$  abgeleitet:

- $\Delta UK > 0$ : NBA reduziert die Verkehrssicherheit innerhalb des gesamten beeinflussten Netzes.
- $\Delta UK < 0$ : NBA erhöht die Verkehrssicherheit innerhalb des gesamten beeinflussten Netzes.

### 4.3 KBA – Verkehrssicherheit

#### 4.3.1 Ansatz

Der primäre Sicherheitsgewinn von KBA entsteht, indem kritische Situationen, in denen Unfälle

entstehen können, vermieden werden. Bei einer Beeinflussung des Verkehrsgeschehens an einem Knotenpunkt wird die Anzahl an Situationen, die zu einem Verkehrsstau führen, reduziert. Hierdurch ist ein sekundärer Sicherheitsgewinn zu verzeichnen, da sich die Eintrittswahrscheinlichkeit von kritischen Auffahrunfällen reduziert. Durch Verkehrsbeeinflussung mittels variabler Fahrstreifenzuweisung wird eine verbesserte Verkehrsführung erreicht. Bei ZFR-Anlagen kommt hinzu, dass durch die Zerstückelung von Fahrzeugpulks das Einfädeln erleichtert und somit das Gefahrenpotential beim Einfädelvorgang reduziert wird.

Nicht alle Unfälle lassen sich durch die Installation einer KBA vermeiden, deshalb wird zunächst definiert, welche Unfälle adressiert werden können.

Es kann nur auf Gefahrensituationen Einfluss genommen werden, die sich zum Zeitpunkt einer geschalteten KBA ereignen. Desweiteren kann auf menschliches Versagen kein Einfluss genommen werden. Deshalb sind Unfälle aufgrund von Alkoholeinfluss oder Falschfahren nicht zu berücksichtigen.

Unfälle werden in Deutschland einheitlich nach StVUnfStatG [Statistisches Bundesamt, 2006] archiviert. Die Unfallstatistiken werden für die Analyse der Beeinflussung einer KBA auf das Unfallgeschehen verwendet.

Als Indikator für die Wirkung einer KBA bezüglich der Verkehrssicherheit werden die monetären Größen UK sowie UKR für die adressierbaren Unfälle ermittelt. Adressierbare Unfälle entsprechen den Unfällen, die im ex-ante Zeitraum vorgefallen sind und durch eine Schaltung einer KBA potenziell angesprochen werden können und ggf. aufgrund dessen nicht aufgetreten wären.

Es existieren derzeit keine aussagekräftigen Untersuchungen zu alleinstehenden KBA, mit denen anhand einer Langzeituntersuchung das Wirkungspotential bezüglich der Unfallvermeidung ermittelt wurde. Besteht auf der HFB bereits eine Beeinflussung durch eine SBA, so kann die Wirkung bzgl. der Verkehrssicherheit nicht eindeutig einem Anlagentyp zugeschrieben werden.

#### 4.3.2 Verfahrensprinzip

Zunächst wird das allgemeine Vorgehen zur Ermittlung der adressierbaren Unfälle an einem Knotenpunkt beschrieben. In den Kapiteln Verfahrensschritte (Kapitel 4.3.3, 4.3.4) wird auf die Besonderheiten für den jeweiligen KBA-Typ eingegangen.

Für eine Unfallanalyse mit Hilfe der Unfallstatistiken der Länder werden die Begriffe, die bereits in Kapitel 4.1 beschrieben sind, verwendet.

Die Unfallstatistiken können in Deutschland bei den Bundesländern in Form von Excel-Tabellen eingeholt werden. In anderen europäischen Ländern, wie z.B. Österreich ist eine zentrale Stelle (Kuratorium für Verkehrssicherheit) für die Archivierung von Unfalldaten zuständig. Liegen die Unfalldaten nicht in Form von Excel-Tabellen vor, so kann das Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung von KBA trotzdem eingesetzt werden. Die Informationen zu Verkehrsunfällen aus z.B. Steckkarten können manuell eingetragen werden.

Abbildung 4-4 zeigt die aufeinander folgenden Verfahrensschritte.

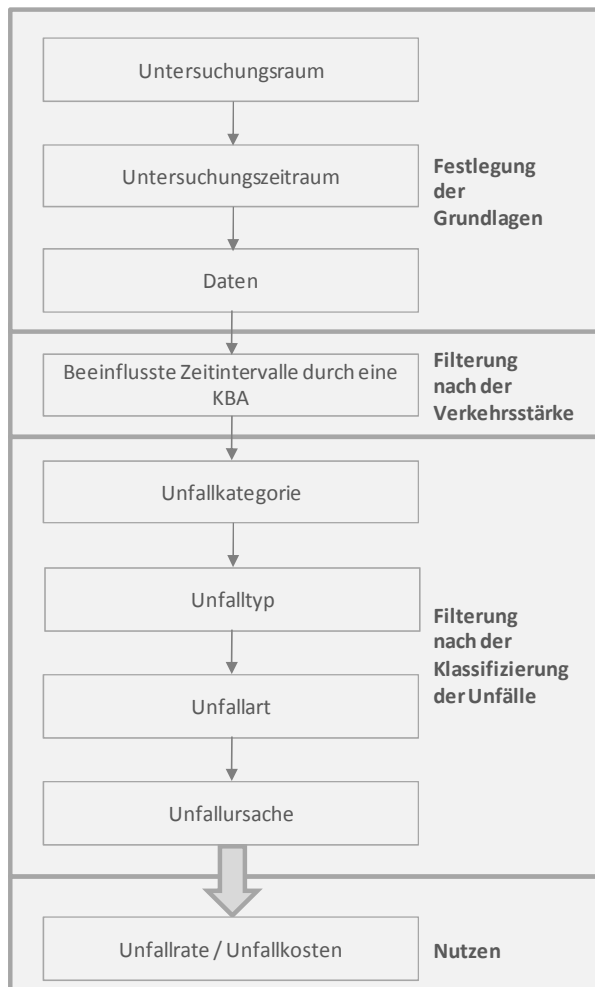


Abbildung 4-4: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirksamkeitsuntersuchung: Verkehrssicherheit KBA

Für eine aussagekräftige Untersuchung von Unfalldaten ist ein Zeitraum von mindestens 3 Jahren erforderlich. Die Unfalldaten sollten sich über einen sinnvoll gewählten Untersuchungsraum erstrecken. Anhaltswerte dazu sind bereits in [FGSV, 2007b] vermerkt. Der Untersuchungsraum sollte sich jedoch stromaufwärts nicht über die vorherige Ein- oder Ausfahrt erstrecken.

Eine KBA wird in der Regel verkehrabhängig (siehe Beschreibung der Schaltalgorithmen in

Kapitel 2.4) oder Festzeit gesteuert. Die Anlage wird hauptsächlich zu verkehrsstarken Zeiten aktiviert. Durch vorzeitige Festlegung von möglichen Einschaltwerten für den Schaltalgorithmus können die Zeiträume mit aktivierter KBA identifiziert werden. Dafür werden die Verkehrsstärken der HFB und der Einfahrtsrampe benötigt. Folgende Gleichungen dienen als Näherung für Ein- und Ausschaltzeiten:

$$(Q_{HFB} > Q_{HFB, ein}) \text{ und } (Q_{Rampe} > Q_{Rampe, ein})$$

Formel 4-16: Näherung für Ein- und Ausschaltzeiten, ZFR

Unfälle die sich in diesen Zeiträumen ereigneten sind mit einer KBA adressierbar. Besteht auf der HFB bereits eine Verkehrsdetektion, so kann die Verkehrslage mit Hilfe von Contourplots dargestellt werden. Eine Analyse solcher Weg-Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme ermöglicht eine schnelle Identifikation von möglichen beeinflussbaren Zeitintervallen. Es ist zu empfehlen eine Datenanalyse von mindestens 3 repräsentativen Monaten durchzuführen. Die Zeitintervalle sind für die Abgrenzung der Beeinflussungsintervalle mit einer Stundengenauigkeit anzugeben. Die Zeitintervalle sind aus folgenden Gründen mit Unsicherheiten behaftet:

- Erfassung der Unfallzeitpunkte durch die Polizei erfolgt oft sehr ungenau. Meist wird die Uhrzeit des Eintreffens der Polizei notiert, der nach dem Zeitpunkt des Unfallgeschehens liegt.
- Die Einschaltwerte sind nur grobe Vereinfachungen und entsprechen nicht den nach einem Algorithmus berechneten Werten für die Aktivierung der Anlage.

Die Unfalldaten aus den Unfallstatistiken sind nach unterschiedlichen Größen, wie Unfallkategorie, Unfalltyp, Unfallart und Unfallursache klassifiziert.

Nur eine bestimmte Teilmenge der Unfälle ist durch eine KBA adressierbar, deshalb werden die Unfälle, die nicht durch eine KBA angesprochen werden können herausgefiltert (vgl. Kapitel 4.1.2). Nach der Filterung der Unfalldaten bleiben die adressierbaren Unfälle übrig. Bei der Arbeit mit Unfalldaten ist zu beachten, dass in den Unfallprotokollen mehrere Unfallursachen vermerkt werden können. Zur Entscheidung, ob der Unfall weiter betrachtet wird und als adressierbar eingestuft wird, ist dies zu berücksichtigen.

Durch diese Filterungsmethodik werden nur jene Unfälle berücksichtigt, die sich zum Zeitpunkt einer aktiven Schaltung ereignet hätten, abzüglich der Unfälle, die aufgrund von anderen Einflüssen auch im Beeinflussungsfall aufgetreten wären. Für eine monetäre Bewertung der Unfalldaten sind Kenngrößen wie UK und UKR hilfreich. Die UK und die UKR werden für die adressierbaren sowie für alle Unfälle, die sich in diesem Zeitraum ereignet

haben, berechnet. Für die Berechnung der UK und UKR sind jeweils die aktuellsten zur Verfügung stehenden Unfallkostensätze der BASt zu verwenden.

Da bei dieser Bewertung des Nutzens kein mit/ohne KBA-Vergleich durchgeführt wurde, kann kein negativer Nutzen der Anlage definiert werden. Die negativen Effekte, die sich durch eine KBA einstellen können, werden durch die Analyse vergangener Daten nicht identifiziert. Es kann jedoch festgehalten werden, ob die Anlage eine neutrale oder positive Auswirkung auf den Knotenpunkt hat.

Ist bei der Analyse der Daten kein Unfall als adressierbar eingestuft worden, so kann die Inbetriebnahme einer KBA als neutraler Nutzen für den Knotenpunkt bewertet werden. Werden Unfälle als adressierbar klassifiziert, so könnte eine KBA eine positive Wirkung auf den Knotenpunkt haben. Die Differenz der UK aller Unfälle und der adressierbaren Unfälle zeigt das wirtschaftliche Einsparungspotential.

Eine Inbetriebnahme einer KBA hat als primäres Ziel eine Verbesserung des Verkehrsablaufs. Alle Effekte, die zur Verkehrssicherheit beitragen, sind als sekundärer Gewinn zu betrachten.

#### 4.3.3 Verfahrensschritte: Variable Fahrstreifenzuteilung

##### 4.3.3.1 Untersuchungsraum

Festlegung des Untersuchungsraums gemäß [FGSV, 2007b, Kapitel 4.2]. Der Untersuchungsraum stromaufwärts sollte sich maximal bis zur vorherigen Anschlussstelle (Einfahrt) erstrecken.

##### 4.3.3.2 Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum sollte mindestens 3 Jahre umfassen. Dabei sind Zeiträume mit stark veränderten Rahmenbedingungen zu verwerfen [FGSV, 2007b].

##### 4.3.3.3 Daten

Es werden Unfalldaten für einen Zeitraum von 3 Jahren benötigt. Des Weiteren sind Verkehrsstärkedaten von mindestens 3 Monaten erforderlich, die zu Stundenwerten aggregiert werden. Liegen im abzuschätzenden Bereich keine Detektordaten vor, so kann zur Identifikation der KBA-aktiven Zeitintervalle Expertenwissen herangezogen werden. Eine weitere Möglichkeit ist, die Kfz-Verkehrsstärken aus Dauerzählstellen abzuleiten.

In Tabelle 4-7 werden die für das Verfahren benötigten Daten beschrieben. Diese Daten können aus verschiedenen Quellen bezogen werden.

	Eingangsdaten für Verfahren ( <i>Bemerkung</i> )	Quelle
Daten zur örtl. Lage des Knotenpunkts	Beeinflusste Länge BAB-Abschnitt der HFB und der Einfahrt [km] <i>relevant für die Festlegung der maximalen Verkehrsstärke aus HBS [FGSV, 2001]</i>	Kartenmaterial
	Anzahl Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn je Abschnitt (HFB, Einfahrt) <i>relevant für die Festlegung der maximalen Verkehrsstärke aus HBS [FGSV, 2001]</i>	
Daten zur Verkehrsstärke	Schwerverkehrsanteil auf der HFB und der Einfahrt <i>relevant für die Festlegung der maximalen Verkehrsstärke aus HBS [FGSV, 2001]</i>	gemessene Detektordaten (festinstallierte Detektoren, stichprobenartige Messung) Dauerzählstellen Experten-Schätzungen
	Kfz-Verkehrsstärken der HFB und der Einfahrt aggregiert zu Stundenwerten [Kfz/h] <i>relevant für die Identifikation relevanter Zeitintervalle mit aktiver KBA</i>	gemessene Detektordaten (festinstallierte Detektoren, stichprobenartige Messung) Dauerzählstellen Experten-Schätzungen
Daten zu Unfällen am Knotenpunkt	Alle Unfälle am Knotenpunkt im Zeitraum von 3 Jahren <i>für die anschließende Filterung der Unfälle nach den adressierbaren Unfällen durch eine KBA</i>	Unfallstatistiken Unfallsteckkarte

Tabelle 4-7: Eingangsdaten für das Verfahren KBA: Verkehrssicherheit

#### 4.3.3.4 Schaltungsaktive Zeitintervalle

Eine variable Fahrstreifenzuteilung wird dann aktiviert, wenn das Verkehrsaufkommen auf der einfahrenden Rampe hoch ist und gleichzeitig mäßig starkes Verkehrsaufkommen auf der HFB herrscht. Den einfahrenden Fahrzeugen wird somit das Einfahren auf die HFB erleichtert. Eine mögliche Abfrage zur Ermittlung der Zeitintervalle mit aktiver Fahrstreifenzuteilung ist nach Formel 4-16 festzulegen. Werte für die Einschaltverkehrsstärken ergeben sich aus dem Steuerungsalgorithmus der Anlage.

#### 4.3.3.5 Filterung nach Unfallkategorie

Es werden nur die Unfälle der Unfallkategorien 1 bis 4 betrachtet [FGSV, 2007b]. Andere Kategorien werden auf Grund der unvollständigen Erfassung nicht weiter berücksichtigt.

#### 4.3.3.6 Filterung nach Unfalltyp

Mit einer variablen Fahrstreifenzuteilung lassen sich folgende Unfalltypen adressieren:

Unfalltyp	Beschreibung
2	Abbiege-Unfall
3	Einbiege/Kreuzen-Unfall
6	Unfall im Längsverkehr
7	Sonstiger Unfall

Tabelle 4-8: Adressierbare Unfalltypen durch eine variable Fahrstreifenzuteilung

In den Unfalldaten werden die Unfälle mit diesen Unfalltypen als adressierbar vermerkt.

Die als adressierbar gekennzeichneten Unfälle werden weiter auf die Unfallart hin überprüft.

#### 4.3.3.7 Filterung nach Unfallart

Folgende Unfallarten können mit einer KBA adressiert werden:

Unfallart	Beschreibung
1	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das anfährt, anhält oder steht
2	Zusammenstoß mit vorausfahrendem Fahrzeug
3	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug seitlich in gleicher Richtung
5	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das einbiegt

Tabelle 4-9: Adressierbare Unfallarten durch eine variable Fahrstreifenzuteilung

Die Unfälle, die nach dieser Filterung markiert sind, erfüllen die Bedingungen zum Unfalltyp und Unfallart.

Eine noch genauere Betrachtung der Unfalldaten erfolgt im nächsten Schritt, bei der Überprüfung

der adressierten Unfälle hinsichtlich der Unfallursache.

#### 4.3.3.8 Filterung nach Unfallursache

Unfälle infolge von Alkoholeinfluss, Wild, Straßen- und Witterungseinflüssen (wie Schnee, Regen, Glätteis,...) können durch eine variable Fahrstreifenzuteilung **nicht** adressiert werden und sind somit nicht zu berücksichtigen. Die markierten adressierten Unfälle sind um die Unfälle mit oben genannten Ursachen zu reduzieren.

#### 4.3.3.9 Unfallrate und Unfallkosten

Für die adressierbaren Unfälle und für alle Unfälle die sich am Knotenpunkt ereigneten, sind die UR und die UKR nach Formel 4-1 und Formel 4-3 zu berechnen.

Konnten an dem Knotenpunkt keine adressierbaren Unfälle festgestellt werden, so ist die Errichtung einer KBA hinsichtlich Verkehrssicherheit als neutral wirksame Maßnahme festzuhalten. Andernfalls wird das wirtschaftliche Wirksamkeitspotential der Anlage über die Differenz der UK aller Unfälle und der adressierbaren Unfälle ermittelt (Formel 4-17).

$$\Delta UKR = UKR_{\text{alle Unfälle}} - UKR_{\text{adressierbare Unfälle}}$$

Formel 4-17: Wirtschaftliches Wirksamkeitspotential

Das Wirksamkeitspotential beschreibt die Unfallkosten, die durch Aktivierung der Anlage hätten vermieden werden können.

#### 4.3.4 Verfahrensschritte: ZFR

##### 4.3.4.1 Untersuchungsraum

Festlegung des Untersuchungsraums gemäß [FGSV, 2007b, Kapitel 4.2]. Der Untersuchungsraum stromaufwärts sollte sich maximal bis zur vorherigen Anschlussstelle (Einfahrt) erstrecken.

##### 4.3.4.2 Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum sollte sich für den zu betrachteten Knotenpunkt mindestens über 3 Jahre erstrecken. Dabei sind Zeiträume mit stark veränderten Rahmenbedingungen zu verwerfen [FGSV, 2007b].

##### 4.3.4.3 Daten

Es werden Unfalldaten von 3 Jahren benötigt. Des Weiteren sind Verkehrsstärkedaten von mindestens 3 Monaten erforderlich, die zu Stundenwerten aggregiert werden. Liegen im abzuschätzenden Bereich keine Detektordaten vor, so kann zur Identifikation der KBA-aktiven Zeitintervalle Expertenwissen herangezogen werden. Eine weitere Möglichkeit ist es, die Kfz-Verkehrsstärken aus Dauerzählstellen abzuleiten. In Tabelle 4-7 werden die für das Verfahren benötigten Daten be-

schrieben. Diese Daten können aus verschiedenen Quellen bezogen werden.

#### 4.3.4.4 Schaltungsaktive Zeitintervalle

Eine ZFR kommt zum Einsatz, wenn der Verkehrsstrom der Rampe entsprechend stark ist, dass die Einfädeltvorgänge den Hauptstrom so stark beeinflussen, dass es auf der HFB zu Stauungen kommt. Zur Ermittlung der Zeitbereiche, wann die Anlage aktiv wäre, sollen die Gleichungen nach Formel 4-16 erfüllt werden.

Die Schwellenwerte  $Q_{\text{HFB, ein}}$  und  $Q_{\text{Rampe, ein}}$  sind abhängig vom Anlagentyp und entsprechend den Gegebenheiten anzupassen. Liegen keine Einschaltwerte für die Verkehrsstärken vor, so können Erfahrungswerte ähnlicher Anlagen helfen.

#### 4.3.4.5 Filterung nach Unfallkategorie

Es werden nur die Unfälle der Unfallkategorien 1 bis 4 betrachtet [FGSV, 2007b]. Andere Kategorien werden auf Grund der unvollständigen Erfassung nicht weiter berücksichtigt.

#### 4.3.4.6 Filterung nach Unfalltyp

Folgende Unfalltypen können adressiert werden:

Unfalltyp	Beschreibung
3	Einbiege/Kreuzen-Unfall
6	Unfall im Längsverkehr
7	Sonstiger Unfall

Tabelle 4-10: Adressierbare Unfalltypen durch eine ZFR

In den Unfalldaten werden die Unfälle dieses Unfalltyps als adressierbar vermerkt.

Die als adressierbar gekennzeichneten Unfälle werden weiter hinsichtlich Unfallart überprüft.

#### 4.3.4.7 Filterung nach Unfallart

Die Unfallarten die durch eine ZFR adressiert werden können sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Unfallart	Beschreibung
1	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das anfährt, anhält oder steht
2	Zusammenstoß mit vorausfahrendem Fahrzeug
3	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug seitlich in gleicher Richtung
5	Zusammenstoß mit einem Fahrzeug, das einbiegt

Tabelle 4-11: Adressierbare Unfallarten durch eine ZFR

Die Unfälle, die nach dieser Filterung markiert sind, erfüllen die Bedingungen zu Unfalltyp und Unfallart.

Eine noch genauere Betrachtung der Unfalldaten erfolgt im nächsten Schritt, bei der Überprüfung der adressierten Unfälle hinsichtlich der Unfallursache.

#### 4.3.4.8 Filterung nach Unfallursache

Unfälle infolge von Alkoholeinfluss, Wild, Straßen- und Witterungseinflüssen (wie Schnee, Regen, Glatteis,...) können durch eine ZFR **nicht** adressiert werden und sind somit nicht zu berücksichtigen. Die markierten adressierten Unfälle sind um die Unfälle mit oben genannten Ursachen zu reduzieren.

Witterungseinflüsse könnten gegebenenfalls durch eine verstärkte Pulkzerstückelung beeinflusst werden. Die Anlage müsste dann Umfelddaten erfassen und über entsprechende Schaltungsalgorithmen verfügen.

#### 4.3.4.9 Unfallrate und Unfallkosten

Für die adressierbaren Unfälle und für alle Unfälle die sich am Knotenpunkt ereigneten, sind die UR und die UKR nach Formel 4-1 und Formel 4-3 zu berechnen.

Konnten an dem Knotenpunkt keine adressierbaren Unfälle festgestellt werden, so ist die Errichtung einer KBA als neutrale Maßnahme zu werten. Andernfalls wird das wirtschaftliche Wirksamkeitspotential der Anlage über die Differenz der UKR aller Unfälle und der adressierbaren Unfälle ermittelt (Formel 4-17).

### 4.4 KBA – Verkehrsfluss

#### 4.4.1 Ansatz

Aus der Analyse unterschiedlicher Verfahren zur Steuerung von ZFR wird ein Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung abgeleitet. Das Verfahren vergleicht die Reisezeiten am Knotenpunkt mit und ohne Beeinflussung des Verkehrs durch eine ZFR.

Als Regelgrößen für eine KBA werden die gemessene Verkehrsstärke und Geschwindigkeit der Kfz auf der HFB und der Rampe verwendet. In Regelwerken zur verkehrstechnischen Bemessung von Straßen (HBS) [FGSV, 2001] wird die Kapazität als Konstante aufgefasst. Unterschiedliche Untersuchungen [Banks, 1990; Ponzlet, 1996; Regler, 2004] zeigen, dass beispielsweise der maximale Stauabfluss nach einem Zusammenbruch des Verkehrsflusses geringer ist, als die Kapazität im fließenden Verkehr. Dies hängt primär mit dem unterschiedlichen Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer zusammen. Untersuchungen von Brilon et al. [2004, 2008] zeigen, dass die Kapazität eher als stochastische Größe betrachtet werden sollte. Dies liegt darin begründet, dass nicht jede Überschreitung eines bestimmten festen Kapazitätswertes das gleiche Verkehrsgeschehen nach sich zieht.

Bei der Wahl der Aggregierungsintervalle werden möglichst kleine Intervalle gewählt. Die Parameter Verkehrsstärke und Geschwindigkeit werden als 1-Minuten-Werte verwendet, da sie in der Unterzentrale nach TLS [BAST, 2002] bereits als solche gespeichert werden. Auch innerhalb eines Aggregierungsintervalls treten aufgrund von Fahrzeugkolonnen Verkehrsstärkeschwankungen auf [Wu, 2000]. Unter Verwendung der kleinen Intervallgröße wird versucht, sämtliche Fahrzeugpuls zu erfassen.

Belastungskombinationen aus der HFB und der Rampe werden erstellt, um relevante Beeinflussungsfälle einer ZFR zu bilden. Die Wahrscheinlichkeit, dass es zur Beeinflussung des Verkehrs auf der HFB kommt, steigt mit der Verkehrsstärke der Rampe an. Des Weiteren steigt die Wahrscheinlichkeit, dass aus der Beeinflussung eine Störung entsteht mit steigender Verkehrsstärke auf der HFB stromaufwärts an [Trapp, 2008]. Aus diesen Aussagen lässt sich die Hypothese ableiten, dass die Wahrscheinlichkeit eines Einbruchs der Geschwindigkeit im Engpass mit der Verkehrsstärke steigt [Athol, Bullen, 1973; Kühne et al., 2002].

Zur Beurteilung der ZFR-Anlage werden die Reisezeiten im betrachteten System (HFB und Rampe) berechnet. Dazu werden die Reisezeiten getrennt für die HFB und die Rampe ermittelt und anschließend addiert. Abbildung 4-5 zeigt, dass im unbeeinflussten Fall eine Stauung auf der HFB stattfindet. Für die Berechnung der Gesamtreisezeit im System entsteht keine Wartezeit auf der Rampe. Die Verkehrsstärke im Falle einer Stauung auf der HFB entspricht ca. 85 % bis 95 % der Kapazität im nicht gestauten Fall [Handbook of Ramp Metering, 2007].

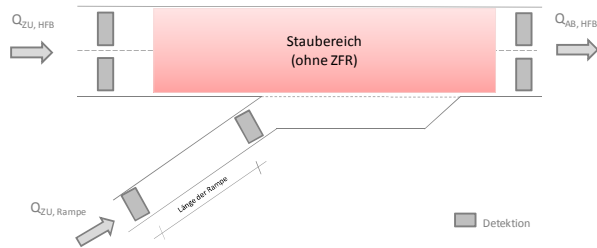


Abbildung 4-5: Staubereich ohne ZFR

Im beeinflussten Fall kommt es bedingt durch die LSA zu Wartezeiten. Die Stauung findet auf der Rampe statt (siehe Abbildung 4-6).

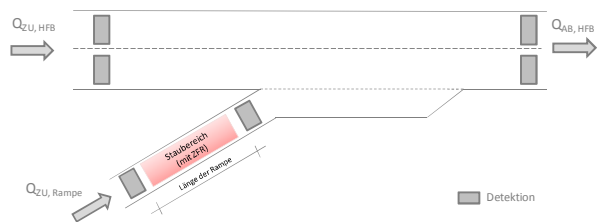


Abbildung 4-6: Staubereich mit ZFR

Die Wartezeiten auf der Rampe werden mit Hilfe der Warteschlangentheorie beschrieben. Die Klassifizierung erfolgt nach dem Schema von Kendall [1953], das bereits in Kapitel 4.1.2 beschrieben ist. Im Fall einer Beeinflussung durch eine ZFR sind die Ankunftsrate zufällig verteilt (M). Die Bedienzeit wird durch die Schaltung der LSA beeinflusst. Es kann von einer konstanten Bedienzeit ausgegangen werden. Die Verteilung wird als deterministisch beschrieben (D). Vor der LSA steht in Deutschland in den meisten Fällen nur ein Fahrstreifen zur Verfügung, so dass von einem Bedienschalter ausgegangen wird (1). Nach Kendall-Notation:  $M/D/1$ .

Bei der ZFR kann die Zuflussrate die Servicerate übersteigen, und somit der Auslastungsgrad  $\rho > 1$  steigen. Da stochastische Warteschlangenmodelle nur für  $\rho < 1$  Anwendung finden, werden die Wartezeiten im stochastischen Modell bei einem  $\rho \rightarrow 1$  überschätzt und gehen gegen unendlich [Webster, 1958]. Bei deterministischer Berechnung der Wartezeiten entstehen diese erst bei  $\rho > 1$ . Die Wartezeiten steigen dann mit der Zeit linear an. Um auch bei Auslastungsgraden größer 1 noch sinnvolle Warteschlangenzeiten/-längen zu erhalten, wird ein Warteschlangenmodell gewählt, das für allgemeine Bedienzeitenverteilungen (G) Gültigkeit hat. Nach Kendall-Notation:  $M/G/1$ .

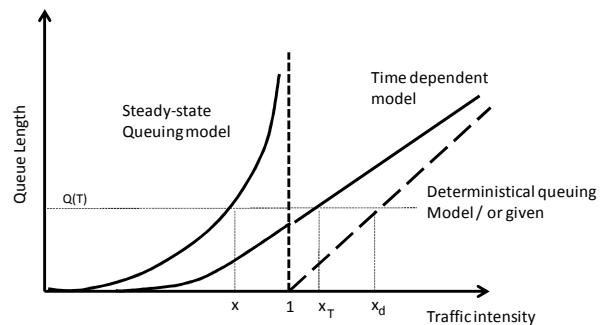


Abbildung 4-7: Stochastische und deterministische Wartezeitfunktion, Übergangsfunktion [Rouphail et al., 1992]

In Abbildung 4-7 wird der Effekt der deterministischen und stochastischen Warteschlangenermittlung verdeutlicht. Kimber, Hollis [1979] haben einen Ansatz entwickelt, der die Unstetigkeitsstelle für  $\rho \rightarrow 1$  überwindet. Mit Hilfe der Koordinatentransformation wird das Ergebnis der stochastischen Funktion in eine neue Funktion überführt. An der Unstetigkeitsstelle nähert sich diese Funktion nach Kimber/Hollis asymptotisch an die deterministische Funktion an (siehe Abbildung 4-7).

Die Gesamtreisezeit berechnet sich aus der Summe der Reisezeiten auf der HFB und der Rampe, sowie aus der Wartezeit auf der Rampe.

Um den Effekt des Rückstaus ins nachgeordnete Netz zu berücksichtigen, wird die Warteschlange im Beeinflussungsfall berechnet und mit der Rampe

penlänge abgeglichen. Übersteigt die Länge der Warteschlange die Länge der Rampe, so wird dieser Effekt des Rückstaus in das nachgeordnete Netz als negativ bewertet. Für dieses Zeitintervall wird kein Nutzen in Form von Reisezeitgewinnen verzeichnet. Die Differenz der Reisezeiten ohne ZFR und mit ZFR zeigt den Nutzen je Zeitintervall.

Der positive Nutzen der KBA zeigt sich durch den Reisezeitgewinn am Knotenpunkt im Beeinflussungsfall. Negativer Nutzen stellt sich ein, wenn die Reisezeiten im Beeinflussungsfall größer sind als ohne Beeinflussung. Die Summe über alle betrachteten Zeitintervalle zeigt den Gesamtnutzen der Anlage.

#### 4.4.2 Verfahrensprinzip

Das folgende Ablaufdiagramm beschreibt die einzelnen Verfahrensschritte:

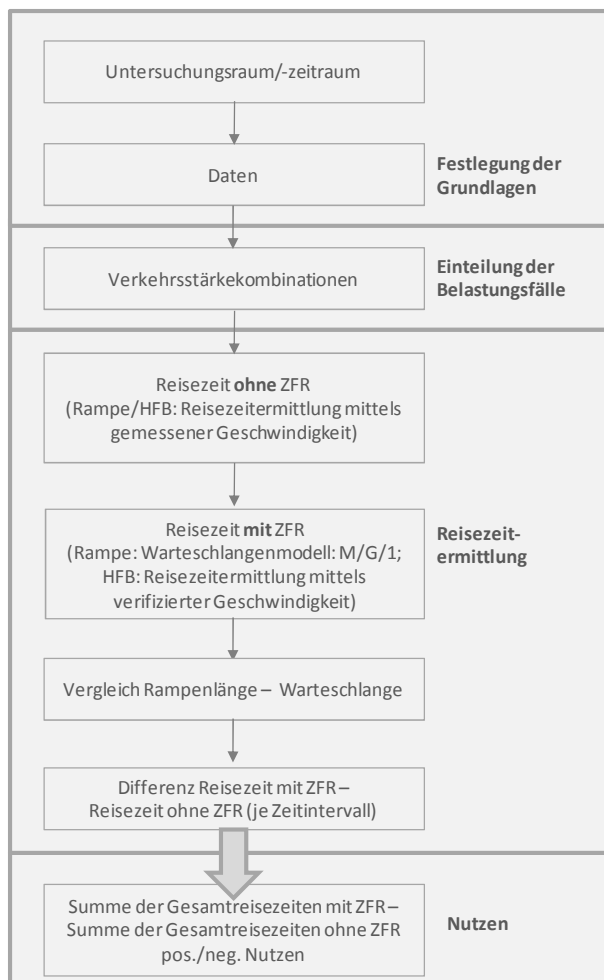


Abbildung 4-8: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirkungsermittlung: Verkehrsfluss ZFR

Für eine aussagekräftige Abschätzung der Wirksamkeit einer KBA ist ein Untersuchungszeitraum von mindestens 3 Monaten erforderlich. Besteht auf dem Streckenabschnitt bereits eine Detektion, so werden die Verkehrsdaten nach TLS [BAST, 2002] in 1-Minuten-Intervallen erhoben. Eine Ag-

gregation der Daten ist für dieses Verfahren nicht erforderlich. Werden auf der geplanten Strecke Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten nicht automatisch erfasst und nach TLS [BAST, 2002] archiviert, sind die Verkehrsdaten an geeigneten Tagen stichprobenartig zu erheben. Dabei ist darauf zu achten, dass repräsentative Tage zur Erhebung herangezogen werden. Besteht auch keine Möglichkeit eine Stichprobenmessung durchzuführen, so können Daten eines ähnlich gelegenen Knotenpunktes (ähnliches Verkehrsaufkommen, ähnliche Geometrie, ...) verwendet werden. Es ist allerdings von dieser Variante abzuraten, da die Übertragbarkeit der Wirkung an einem anderen Knotenpunkt nicht gewährleistet ist.

Durch die Kombination der Verkehrsstärken der HFB und der Rampe werden die möglichen Belastungsfälle gebildet (siehe Tabelle 4-12). Die Grenzwerte  $Q_{\text{grenz,HFB}}$  und  $Q_{\text{grenz,Rampe}}$  für die Belastungskombinationen werden entsprechend den möglichen Anlageneinschaltwerten definiert. Die Einschaltwerte der Rampe ergeben sich aus Erfahrungswerten bereits installierter Anlagen ( $Q_{\text{grenz,Rampe}} \sim 700$  Kfz/h). Die Grenzwerte  $Q_{\text{min}}$  und  $Q_{\text{max}}$  für die HFB werden nach Empfehlungen des HBS [FGSV, 2001] abgeleitet und sind abhängig von der Anzahl der Fahrstreifen und des Schwerverkehranteils. Die Belastungskombinationen können, je nach Anwendungsfall, selbst bestimmt und die Grenzwerte spezifisch festgelegt werden.

	HFB	Rampe
1	$Q_{\text{grenz,HFB}} < Q_{\text{HFB}} < Q_{\text{max}}$	& $Q_{\text{Rampe}} > Q_{\text{grenz,Rampe}}$
2	$Q_{\text{grenz,HFB}} < Q_{\text{HFB}} < Q_{\text{max}}$	& $Q_{\text{Rampe}} < Q_{\text{grenz,Rampe}}$
3	$Q_{\text{min,HFB}} < Q_{\text{HFB}} < Q_{\text{grenz,HFB}}$	& $Q_{\text{Rampe}} > Q_{\text{grenz,Rampe}}$
4	$Q_{\text{HFB}} < Q_{\text{grenz,HFB}}$	& $Q_{\text{Rampe}} < Q_{\text{grenz,Rampe}}$

Tabelle 4-12: Mögliche Belastungskombinationen der HFB und der Rampe

Die Verkehrsstärkekombination 4 (vgl. Tabelle 4-12) erfordert keine Beeinflussung durch eine ZFR, da die Verkehrsstärken auf der Rampe sowie auf der HFB gering sind und das Einfädeln auf die HFB keine Probleme bereitet. Befinden sich viele Fahrzeuge auf der HFB und wenige auf der Rampe, so ist eine Beeinflussung ebenfalls nicht zwingend erforderlich, kann aber betriebsabhängig zu einer Schaltung der Anlage führen (Fall 2). Die wenigen auffahrenden Fahrzeuge können eine geeignete Zeitlücke finden, um sich auf der HFB einzuordnen. In den Belastungsfällen 1 und 3 wird die ZFR aktiviert. Im Fall 3 wird mit der Festlegung einer minimalen Verkehrsstärke  $Q_{\text{min,HFB}}$  berücksichtigt, dass bei geringer Verkehrsbelastung auf der HFB das Einfädeln auf die HFB ohne Konfliktpunkte erfolgen kann. Es wird davon ausgegangen, dass die Fahrzeuge der HFB auf den linken Fahrstreifen wechseln und somit der rechte zum leichten Auffahren für die von der Rampe dazu kommenden Fahrzeuge zur Verfügung steht.  $Q_{\text{min}}$



kann beispielsweise auf 1800 Kfz/h gesetzt werden. Dies entspricht in etwa der maximalen Verkehrsstärke, die ein Fahrstreifen aufnehmen kann. In den Belastungsfällen 1 und 2 wird eine obere Grenze für die Verkehrsstärke der HFB festgelegt. Diese berücksichtigt den Effekt der Überlastung der HFB. Stauungen breiten sich über den betrachteten Knotenpunkt aus. Die Wirkungen der KBA werden in diesen Fällen nicht berücksichtigt. Im Fall einer Überstauung des Knotenpunktes ist eine detaillierte Simulationsuntersuchung empfehlenswert, die in dem vorgestellten einfachen Verfahren zur Wirkungsschätzung nicht berücksichtigt werden kann.

Die *Reisezeiten ohne ZFR* werden aus den summierten Reisezeiten ( $t_{HFB/Rampe}$ ) auf der HFB und der Rampe ermittelt.

$$t_{ohne\ ZFR} = q_{HFB/Rampe} \cdot \frac{l_{HFB/Rampe}}{v_{HFB/Rampe}}$$

Formel 4-18: Reisezeitermittlung ohne ZFR

mit:

- t Reisezeit der HFB/Rampe [h]
- q Kfz-Verkehrsstärke auf der HFB/Rampe [Kfz]
- l Länge der HFB/Rampe [km]
- v Kfz-Geschwindigkeit auf der HFB/Rampe [km/h]

Die Längen der HFB und der Rampe richten sich nach der Lage der Detektoren auf der HFB und nach den minimalen Angaben nach [FGSV, 2007b].

Die Berechnung der *Reisezeiten mit ZFR* erfolgt durch die Summierung der Reisezeiten auf der HFB, Rampe und der Wartezeiten auf der Rampe. Die Reisezeit auf der HFB wird im Beeinflussungsfall, wie die in Kapitel 3.2.4 zitierten Studien belegen, um ca. 3-10 % reduziert. Bei einer konservativen Betrachtung werden für die Schätzung der Wirksamkeit die Reisezeiten auf der HFB um 5 % vermindert. Die Reisezeit berechnet sich somit nach Formel 4-19:

$$t_{HFB} = (1 - 0.05) \cdot q_{HFB} \cdot \frac{l_{HFB}}{v_{HFB}}$$

Formel 4-19: Reisezeitermittlung mit ZFR - HFB

mit:

- t Reisezeit auf der HFB [h]
- q Kfz-Verkehrsstärke auf der HFB [Kfz]
- l Länge der HFB [km]
- v Kfz-Geschwindigkeit auf der HFB [km/h]

Die Reisezeit auf der Rampe ergibt sich nach folgender Formel zu:

$$t_{Rampe} = q_{Rampe} \cdot \frac{l_{Rampe} - l_{M/G/1}}{v_{Rampe}}$$

Formel 4-20: Reisezeitermittlung mit ZFR – Rampe

mit:

- t Reisezeit auf der Rampe [h]
- q Kfz-Verkehrsstärke auf der Rampe [Kfz]
- $l_{Rampe}$  Länge der Rampe [km]
- $l_{M/G/1}$  Länge der Warteschlange (nach Formel 4-10)
- $v_{Rampe}$  Kfz-Geschwindigkeit auf der Rampe [km/h]

Die Wartezeiten ( $w_{M/G/1}$ ) vor der LSA, werden bedingt durch den Warteprozess mit der Formel 4-6 berechnet. Die Bedienungsrate im beeinflussten Fall berechnet sich aus dem maximal möglichen Abfluss von 15 Kfz/min. Diesen Wert erhält man, aus den Mindestzeiten der Signalbilder (Tabelle 4-13).

Signalbild	Mindestzeit [s]
Gelb (1.Phase)	5
Rot	2
Rot-Gelb	1
Grün	1
Gelb	1

Tabelle 4-13: Mindestzeiten für Signalbilder der LSA [FGSV, 2007a]

Durch Variation der Rotzeiten an der LSA lässt sich der Verkehrszufluss der Rampe regulieren. Die Grünzeiten werden in den meisten Fällen konstant gehalten, damit jeweils ein Fahrzeug bei grün einfahren kann. Aus den Mindestzeiten ergeben sich Umlaufzeiten von 4-32 s, was einer Bedienungsrate von 15-2 Kfz/min entspricht.

Die Wartezeit vor der LSA setzt sich aus der Wartezeit ( $w_u$ ), die unmittelbar aus der Sperrzeit der LSA verursacht wird, und der Wartezeit ( $w_{M/G/1}$ ), bedingt durch stochastische Schwankungen der Verkehrsstärke, zusammen. Die Gesamtwartezeit der Fahrzeuge wird nach der Formel 4-9 berechnet.

Übersteigt die Rückstaulänge die Länge der Rampe, so ist die mögliche Reisezeitersparnis in der Nutzenbilanz nicht zu berücksichtigen. Die

Intervalle, mit einem Rückstau ins nachgeordnete Netz, werden bei der Nutzenbilanz vermerkt, und können bei der Überprüfung des Nutzens als negativer Nutzen angesetzt werden.

Durch Vergleiche der summierten Reisezeit im Beeinflussungsfall mit dem unbeeinflussten Fall lässt sich der Nutzen der Anlage ermitteln. Desweiteren werden die Anzahl der Schaltungen mit ZFR und ohne ZFR gegenübergestellt um zu überprüfen, ob eine überproportional häufige Aktivierung der ZFR erforderlich wäre. In diesem Fall ist eine zusätzliche bauliche Maßnahme zu untersuchen.

Das vorgestellte Verfahren findet keine Anwendung, wenn die Verkehrsnachfrage die Kapazität übersteigt. Der Betrachtungsraum ist dann zu klein gewählt, da die Effekte der KBA über den Knotenpunktsbereich hinausgehen und ein aufwändigeres Verfahren nötig wäre. Vorgeschlagen wird in diesem Fall eine Simulationsuntersuchung durchzuführen und diesen Effekt detaillierter zu betrachten. Des Weiteren ist das Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung nur für den Einfahrtstyp E1 und E3 anzuwenden [FGSV, 2008b]. Für andere Einfahrtstypen müsste das Verfahren angepasst werden und der Algorithmus zur Wirksamkeitsschätzung wird wesentlich komplexer, da sich dadurch auch die Schaltungsstrategie „Ein Fahrzeug bei grün“ verändert.

#### 4.4.3 Verfahrensschritte

##### 4.4.3.1 Untersuchungsraum

Festlegung des Untersuchungsraums gemäß [FGSV, 2007b, Kapitel 4.2].

##### 4.4.3.2 Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum sollte mindestens 3 Monate für den betrachteten Knotenpunkt betragen. Dabei sind Zeiträume mit stark veränderten Rahmenbedingungen zu verwerfen [FGSV, 2007b].

##### 4.4.3.3 Daten

Es werden die Verkehrsstärke und die Geschwindigkeit der HFB (stromaufwärts des Knotenpunktes) und der Rampe von mindestens 3 Monaten benötigt. Die Messquerschnitte sollten in unmittelbarer Nähe zur Einfahrtsrampe liegen. Der stromaufwärts gelegene Messquerschnitt der HFB sollte nach einer evtl. vorhandenen Abfahrt des Knotenpunkts liegen. Andernfalls werden die Fahrzeuge,

die die HFB verlassen, subtrahiert. Werden auf der Strecke Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten nicht automatisch erfasst und nach TLS [BASt, 2002] archiviert, sind die Verkehrsdaten an geeigneten Tagen (mindestens 3 Tage) stichprobenartig zu erheben. Dabei ist darauf zu achten, dass repräsentative Tage zur Erhebung herangezogen werden. Besteht auch keine Möglichkeit, eine Stichprobenmessung durchzuführen, so können Daten eines ähnlich gelegenen Knotenpunktes (ähnliches Verkehrsaufkommen, ähnliche Geometrie, ...) verwendet werden.

Es ist allerdings von dieser Variante abzuraten, da die Übertragbarkeit der Wirkung an einem anderen Knotenpunkt nicht gewährleistet ist.

Die Quellen und weitere Eingangswerte für das Verfahren sind in Tabelle 4-14 beschrieben. Bemerkungen zu den Eingangsdaten weisen darauf hin, in welchem Schritt die Daten benötigt werden.

Die Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten werden in 1-Minuten Intervallen benötigt.

##### 4.4.3.4 Verkehrsstärkekombinationen

Die Verkehrsstärken der HFB und der Rampe werden, wie in Tabelle 4-12 beschrieben, zu Belastungskombinationen zusammengefasst.

Die Verkehrsdaten der Belastungskombinationen 1 und 2 werden im Folgenden weiter berücksichtigt.

##### 4.4.3.5 Reisezeit ohne ZFR

Berechnung der summierten Reisezeit auf der HFB sowie auf der Rampe nach der Formel 4-18. Die summierte Reisezeit ergibt sich zu:

$$t_{\text{ohne ZFR}} = t_{\text{HFB}} + t_{\text{Rampe}}$$

Formel 4-21: Summierte Reisezeit ohne ZFR

##### 4.4.3.6 Reisezeit mit ZFR

Die Reisezeiten im Beeinflussungsfall berechnen sich aus der Reisezeit auf der HFB (Formel 4-19), der Rampe (Formel 4-20) und den Wartezeiten auf der Rampe (Formel 4-9). Die summierte Reisezeit berechnet sich wie folgt:

$$t_{\text{mit ZFR}} = t_{\text{HFB}} + t_{\text{Rampe}} + W$$

Formel 4-22: Summierte Reisezeit mit ZFR

	Eingangsdaten für Verfahren ( <i>Bemerkung</i> )	Quelle
Daten zur örtl. Lage des Knotenpunkts	Beeinflusste Länge BAB-Abschnitt der HFB und der Rampe [km] <i>relevant für die Berechnung der Reisezeit und Festlegung der maximalen Verkehrsstärke aus HBS [FGSV, 2001]</i>	Kartenmaterial; pauschal nach [FGSV, 2007b]
	Anzahl Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn je Abschnitt (HFB, Rampe) <i>relevant für die Festlegung der maximalen Verkehrsstärke aus HBS [FGSV, 2001] und Bestimmung der Bedienungsschalter im Warteschlangenmodell</i>	
Daten zur Verkehrsstärke/ Geschwindigkeit	Schwerverkehrsanteil auf der HFB und der Rampe <i>relevant für die Festlegung der maximalen Verkehrsstärke aus HBS [FGSV, 2001]</i>	gemessene Detektordaten (festinstallierte Detektoren, stichprobenartige Messung) Expertenschätzungen
	Kfz-Verkehrsstärken der HFB und der Rampe [Kfz/h] <i>relevant für die Berechnung der Reisezeit und für die Identifikation relevanter Zeitintervalle mit aktiver KBA</i>	gemessene Detektordaten (festinstallierte Detektoren, stichprobenartige Messung)
	Kfz-Geschwindigkeit der HFB und der Rampe [Kfz/h] <i>relevant für die Berechnung der Reisezeit im Beeinflussungsfall und ohne Beeinflussung</i>	gemessene Detektordaten (festinstallierte Detektoren, stichprobenartige Messung)

Tabelle 4-14: Eingangsdaten für das Verfahren KBA: Verkehrsfluss

#### 4.4.3.7 Rückstaulänge

Die Rückstaulänge wird nach Kimber, Hollis [1979] berechnet (Formel 4-10) und mit der gemessenen Länge der Zufahrtsrampe verglichen. Überschreitet die Rückstaulänge die Rampenlänge, so ergibt sich ein Rückstau in das nachgeordnete Netz. Sich daraus ergebende Reisezeitersparnisse im Gesamtsystem werden in der Nutzenbilanz nicht berücksichtigt.

#### 4.4.3.8 Nutzenberechnung

Durch Vergleiche der summierten Reisezeit im Beeinflussungsfall mit dem unbeeinflussten Fall lässt sich der Nutzen der Anlage ermitteln.

$$\sum t_{mit\ ZFR} > \sum t_{ohne\ ZFR} \rightarrow \text{negativer Nutzen}$$

$$\sum t_{mit\ ZFR} < \sum t_{ohne\ ZFR} \rightarrow \text{positiver Nutzen}$$

$$\sum t_{mit\ ZFR} = \sum t_{ohne\ ZFR} \rightarrow \text{neutral}$$

Abbildung 4-9: Nutzen der ZFR

Desweiteren werden die Anzahl der Schaltungen mit ZFR und ohne ZFR gegenübergestellt um zu überprüfen, ob eine überproportional häufige Aktivierung der ZFR erforderlich wäre. In diesem Fall

ist eine zusätzliche bauliche Maßnahme zu untersuchen.

#### 4.4.4 Vereinfachung der Verfahrensschritte

Besteht auf dem zu untersuchenden Knotenpunkt keine automatische Datenerfassung nach TLS [BASt, 2002], wird empfohlen die Daten Verkehrsstärke und Geschwindigkeit der HFB und der Rampe an geeigneten Tagen (mindestens 3 Tage) zu erfassen. Für die Wahl der aussagekräftigen Erfassungstage kann Expertenwissen herangezogen werden. Die erfassten Daten werden, wie auch in dem vorher beschriebenen Verfahren, berechnet. Dies erfolgt automatisch mit Hilfe der Excel-Datei, deren Anwendung in Kapitel 5.6.1 näher beschrieben wird. Der Nutzen, der für die repräsentativen Daten berechnet wurde, wird anschließend auf ein Jahr hochgerechnet. Dazu wird bestimmt, wie häufig es zu diesem Verkehrsaufkommen kommt. Dadurch kann kostengünstig die Wirksamkeit einer KBA abgeschätzt werden. Diese Vereinfachung sollte allerdings nur angewendet werden, wenn keine Verkehrsdaten aus automatischen Zählstellen zur Verfügung stehen.

Eine weitere Vereinfachung wäre, Verkehrsdaten eines ähnlichen Knotenpunktes auszuwerten. Der Knotenpunkt sollte dabei über ähnliche Verkehrsstärken, Fahrzeugaufteilung, Geometrie,... ver-

fügen. Es ist allerdings von dieser Variante abzuraten, da die Übertragbarkeit der Wirkung von einem anderen Knotenpunkt nicht gewährleistet ist.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Datenquellen auf das Ergebnis der Abschätzung wird in Kapitel 6 näher erläutert. Mit Hilfe einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse werden die unterschiedlichen Eingangsdatenquellen bezüglich der Verfahrensergebnisse reflektiert.

## 5 Anwendung der Verfahren

### 5.1 NBA - Verkehrssicherheit

#### 5.1.1 Testfeld NBA

Das Testfeld zur Vorabschätzung der Wirksamkeit von NBA ist der so genannte Bergstraßenkorridor entlang der Städte Darmstadt, Mannheim und Heidelberg, der durch die parallel verlaufenden Autobahnen A5 und A6/A67 gebildet wird (siehe Abbildung 5-1).

Beide Autobahnrouen weisen fast identische Streckencharakteristika auf (z.B. weitgehend gleich Anzahl an Fahrstreifen) und sind jeweils zwischen Netzmaschenanfang und -ende am AK Darmstadt und am AK Walldorf 67 km lang. Am AK Darmstadt sind zwei WWW-Ketten (auf A5 und A67) in Fahrtrichtung Süden im Einsatz. Demnächst wird die WWW-Anlage AK Darmstadt durch dWiSta-Tafeln ersetzt. Auf dem Korridor existiert derzeit keine SBA oder Seitenstreifenfreigabe, sodass keine externen Einflüsse anderer Systeme zu erwarten sind.

Für das Testfeld liegen Daten der Verkehrszentrale Hessen vor:

- TLS-Daten von Dezember 2006 bis Dezember 2007
- OD-Daten des Umlegungsmodell „Süd-hessen“



Abbildung 5-1: Testfeld NBA (Teil Südhessen): A 5 und A 6/A 67 ("Bergstraßenkorridor") [GooglePro]

#### 5.1.2 Softwaretechnische Implementierung

Mit der Excel-Datei zur Schätzung der Wirksamkeit von NBA auf die Verkehrssicherheit (*NBA Wirkungsschätzung Verkehrssicherheit.xls*) kann das Verfahren in einfacher, halbautomatisierter Form für verschiedene Testfelder angewendet werden.

Felder, die Eingangsdaten vom Anwender benötigen, sind weiß hinterlegt. Alle weiteren Werte berechnen sich automatisch. Im Tabellenblatt ‚Wirkung NBA‘ sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die Berechnung findet automatisch statt. Die Vorgehensweise zur Bewertung der Anlage wird schrittweise in den einzelnen Tabellenblättern durchgeführt (vergleiche Tabelle 5-1).

Tabellenblatt	Eingabe durch Anwender	Berechnung/Aufgabe/Ergebnis
A. Netzelemente	Abschnittsbezeichnung, Länge, Fahrstreifen je FR, DTV, mittlere Reisegeschwindigkeit Pkw	Definition der einzelnen Abschnitte
B. Netzmasche	Anzahl Störfälle	Anlegen der Routen; Bestimmung der NBA-relevanten Störungen (abschnittsfein, für Tagestypen); Umwegfaktor
C. NBA-Schaltung	Stärke der Zielverkehre und Aufteilung am Entscheidungspunkt (im Normalzustand); Durchschnittliche Dauer der NBA-Schaltung, Zeitfenster	Bestimmung des Beeinflussungspotenzials und der Befolgungsrate der NBA; Detailangaben zu Störfällen bzw. zu NBA-Schaltungen
D. Unfallkostensätze	W(GT), W(SV), ...	Umrechnung der Unfallkostensätze des Bezugsjahrs 2000 auf den Untersuchungszeitraum
RefGL	Vordefinierte Referenzganglinien (Autobahnen des Bergstraßenkorridors) können bei Bedarf durch den Anwender angepasst bzw. ausgetauscht werden.	BAB-Referenzganglinien für Tagestypen
Ergb.-Fnkt. Umleitung viaR2 Ergb.-Fnkt. Umleitung viaR1	Manuelle Eingabe der abschnittsfeinen beeinflussten Verkehre $\Delta U$	Berechnet stündliche Verkehrsstärken mit und ohne Umleitung für R1 und R2 und ermittelt daraus die stundenfeinen Unfallkosten
Wirkung NBA	--	Endergebnis

Tabelle 5-1: Anwendungsschritte der Excel-Datei, *NBA Wirkungsschätzung Verkehrssicherheit.xls'*

### 5.1.3 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

Die vom Entscheidungspunkt AK Darmstadt ausgehenden Netzmaschen richten sich nach den Fernzielen der Netzbeeinflussung. Im vorliegenden Fall werden die Fernziele der bereits vorhandenen WWW am AK Darmstadt sowohl für eine Differenzierung verschiedener Netzmaschenbereiche als auch für die Bestimmung der betroffenen Zielströme verwendet. Demnach ergeben sich Fernziele, die die gesamte Netzmasche zwischen AK Darmstadt und dem AK Walldorf in Anspruch nehmen (Stuttgart, Karlsruhe, Basel) und Fernziele, die jeweils eigene Netzmaschen bilden (Mannheim, Heidelberg).

Für die Anwendung des Verfahrens zur Schätzung der Verkehrssicherheit mit dem in Kapitel 4.2 beschriebenen Verfahren werden folgende Eingangswerte benötigt:

- Länge BAB-Abschnitt [km]
- Anzahl Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn je Abschnitt
- Mittlere Reisegeschwindigkeit Pkw [km/h] je Abschnitt

- DTV [Kfz/24h] je Abschnitt

Es stehen Daten nach den TLS [BAsT, 2002] der Verkehrszentrale Hessen zur Verfügung, die für die Ermittlung von

- Referenzganglinien für Tagestypen
- Zielverkehr am Entscheidungspunkt [Kfz/24h] je NBA-Maßnahme
- Häufigkeit Störungsmuster [Störungen/Jahr]

Verwendet werden. Die Auswertung der Daten ergab, dass sich der Großteil der NBA-relevanten Störungen auf der A 5 zwischen dem AK Darmstadt und AS Da.-Eberstadt ereigneten (regelmäßig werktags). NBA-relevante Störungen auf der A 67 konnten nur vereinzelt festgestellt werden. Bei der Anwendung des Verfahrens wird zwischen den Tagestypen Normalwerktags (im Bergstraßenkorridor ergeben sich montags ähnliche Verkehrsszenarien wie dienstags bis donnerstags), Freitag, Samstag und Sonn- und Feiertag differenziert. Das Verfahren vergleicht die UK ohne Umleitung (ohne Einsatz einer NBA) mit den ermittelten UK mit Umleitung (unter Einsatz einer NBA).

			Störungen auf R1			Störungen auf R2			
			R1 (= Normalroute)	(= Alternativroute)	Zwischen- summe	R1	R2	Zwischen- summe	
Normalwerktag (Mo - Do)	Gesamtdauer Störfälle mit Schaltung der NBA [StF*h/a]		400			21			
	Unfallkosten ohne Umleitung UK [€/a]		672.892	710.328	1.383.220	34.141	36.022	70.163	
	Unfallkosten mit Umleitung UK [€/a]		642.257	747.884	1.390.141	35.604	34.276	69.880	
	$\Delta$ UK UK [€/a]				6.921	0,50%		-283	-0,40%
Freitag	Gesamtdauer Störfälle mit Schaltung der NBA [StF*h/a]		235			3			
	Unfallkosten ohne Umleitung UK [€/a]		422.405	446.574	868.979	4.432	4.680	9.112	
	Unfallkosten mit Umleitung UK [€/a]		403.174	470.183	873.358	4.622	4.453	9.075	
	$\Delta$ UK UK [€/a]				4.379	0,50%		-37	-0,41%
Samstag	Gesamtdauer Störfälle mit Schaltung der NBA [StF*h/a]		1			0			
	Unfallkosten ohne Umleitung UK [€/a]		1.873	1.971	3.844	0	0	0	
	Unfallkosten mit Umleitung UK [€/a]		1.788	2.075	3.863	0	0	0	
	$\Delta$ UK UK [€/a]				19	0,49%		0	
Sonn- und Feiertag	Gesamtdauer Störfälle mit Schaltung der NBA [StF*h/a]		3			0			
	Unfallkosten ohne Umleitung UK [€/a]		3.323	3.489	6.812	0	0	0	
	Unfallkosten mit Umleitung UK [€/a]		3.172	3.673	6.845	0	0	0	
	$\Delta$ UK UK [€/a]				33	0,49%		0	
<b>gesamt</b>	<b>Änderung der Unfallkosten durch</b> UK [€/a]				11.351	0,50%		-320	-0,40%

Abbildung 5-2: Ergebnis der Wirkungsschätzung einer NBA im Testfeld „Bergstraßenkorridor“ auf die Verkehrssicherheit

Für das Testfeld „Bergstraßenkorridor“ wurde anhand von 279 NBA-relevanten Störungen pro Jahr auf der A 5 (in Fahrtrichtung Süden) durch das Verfahren eine Erhöhung der UK um 11.351 €/Jahr ermittelt. Die 18 NBA-relevanten Störungen pro Jahr auf der A 67 (in Fahrtrichtung Süden) führen zu einer Reduzierung der UK um 320 €/Jahr. Insgesamt schätzt das Verfahren die Wirkungen auf die Verkehrssicherheit einer NBA am AK Darmstadt in Form einer Erhöhung der UK um 11.031 €/Jahr ein (Abbildung 5-2). Der ermittelte geringe Wirkungsgrad bezüglich der Verkehrssicherheit durch den Betrieb einer NBA ist auf die zur Verfügung stehenden Daten aus einem BAB-Netz mit bereits existierender NBA zurück zu führen. Obwohl die WWW-Kette auf der A 5 am AK Darmstadt FR Süden während des Untersuchungszeitraums zu 97 % nur das Standardprogramm geschaltet hatte, haben die wenigen erfolgten Schaltungen einen Effekt auf den positiven bzw. negativen Sicherheitsnutzen. Diese bereits realisierten Wirkungen konnten durch das Verfahren nachträglich nicht mehr nachgewiesen werden. Dass es bei der Verfahrensanwendung insgesamt zu einer Erhöhung der Unfallkosten kommt, lässt sich durch die erhöhte Fahrleistung im Umleitungsfall für die Fernziele Mannheim und Heidelberg erklären.

#### 5.1.4 Bewertung der Verfahrensanwendung

Das Verfahren kann bei Vorliegen der benötigten Datengrundlagen problemlos angewendet werden.

Dem Anwender steht es frei, die erforderliche Verfahrensgenauigkeit selbst zu bestimmen. Entscheidenden Einfluss auf die Genauigkeit des Verfahrens hat:

- die Einteilung der BAB-Korridore in Abschnitte
- die Differenzierung in Tagestypen zur Ermittlung der stündlichen Verkehrsstärke durch entsprechende Referenzganglinien und zur Bestimmung der NBA-relevanten Störungen
- die Bestimmung der Aufteilungsverhältnisse der Zielverkehre am Entscheidungspunkt und
- die Zuverlässigkeit bei der Bestimmung der NBA-relevanten Störungen.

Somit kann das Verfahren je nach Datengrundlage (siehe Tabelle 4-6) sowohl für Netzmaschen ohne als auch mit flächendeckender Datenerfassung angewendet werden.

Da das Verfahren auf einem einfachen Ohne-Mit-Vergleich beruht, der sich auf einen empirisch belegten funktionalen Zusammenhang zwischen stündlicher Verkehrsstärke und Unfallraten auf Autobahnen stützt, ist der ermittelte Einfluss auf die Verkehrssicherheit grundsätzlich als plausibel einzuordnen.

Mögliche Nahziele der NBA, die auf den Achsen des Autobahnkorridors liegen (z.B. AS Da.-Eberstadt, AS Pfungstadt) können derzeit durch das



Verfahren nicht bewertet werden, da die entsprechenden Netzmaschen nicht ausschließlich auf dem BAB-Netz verlaufen. Um auch für diesen möglichen Anwendungsfall einer NBA (Nahziele) das Verfahren anwenden zu können, muss die Datengrundlage erweitert werden. Der zu Grunde liegende funktionale Zusammenhang zwischen der UKR und der stündlichen Verkehrsstärke ist bisher nur für 2- und 3-streifige BAB-Richtungsfahrbahnen nachgewiesen.

Die für das Verfahren angewandte Bestimmung der Befolgungsrate der einzelnen Zielverkehre in Abhängigkeit der Netzmaschengröße und der Umwegigkeit gemäß [FGSV, 2007b, Kap. 4.3.2] ist als grob und unscharf zu bewerten.

## 5.2 NBA – Verkehrsfluss

### 5.2.1 Softwaretechnische Implementierung

Mit der Excel-Datei zur Schätzung der Wirksamkeit von NBA auf den Verkehrsfluss (*NBA Wirkungsschätzung Verkehrsfluss.xls*) kann das Verfahren in einfacher, hablautomatisierter Form für verschiedene Testfelder angewendet werden. Felder, die Eingangsdaten vom Anwender benötigen, sind weiß hinterlegt. Alle weiteren Werte berechnen sich automatisch. Im Tabellenblatt ‚Wirkung NBA‘ sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die Berechnung findet automatisch statt. Die Vorgehensweise zur Bewertung der Anlage wird schrittweise in den einzelnen Tabellenblättern durchgeführt (Tabelle 5-2).

### 5.2.2 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

Das Verfahren zur Beschreibung der Wirkung bezüglich des Verkehrsflusses ist in [FGSV, 2007b]

als Verfahren zur Ermittlung der *Zeitkosten* beschrieben.

Bei dem in [FGSV, 2007b] beschriebenen Verfahren wird die NBA zeitschrittweise modelliert. Für die Erprobung des Verfahrens wurde für den „Bergstraßenkorridor“ ein makroskopisches Verkehrsmodell für den Bereich zwischen AK Darmstadt, AK Viernheim und AK Weinheim erstellt. Damit lassen sich die Wirkungen einer WWW-Anlage am Entscheidungspunkt AK Darmstadt hinsichtlich des Verkehrsflusses ermitteln. Bei der Anwendung des Verfahrens zur Schätzung des Nutzens einer NBA aus Zeiteinsparungen und veränderten Fahrzeugbetriebskosten wurden die festgelegten Arbeitsschritte durchgeführt.

Als Datengrundlagen für das Verfahren sind gemäß [FGSV, 2007b] folgende Daten erforderlich:

- OD-Matrix und Netzmodell (z.B. aus dem Verkehrsmodell Südhessen der Verkehrszentrale Hessen als 24h-Verkehrsmodell)
- Tagesganglinientyp (1h) pro Streckenabschnitt
- Störungsdaten (3 Jahre)
- Messdaten: querschnittsbezogene Verkehrsstärke im 1h Intervall, möglichst für jeden Streckenabschnitt. Zur Analyse der Normalwerkzeuge werden Daten von 3 Monaten benötigt. Für die Analyse von Ereignissen (z.B. Veranstaltungen), Sondertagen (z.B. Ferienbeginn) oder Feiertage; sind entsprechende Messwerte und Ganglinien aus einem ausreichenden Stichprobenumfang (ggf. über mehrere Jahre) zu verwenden.

Tabellenblatt	Eingabe durch Anwender	Berechnung/Aufgabe/Ergebnis
A. BAB-Abschnitte	Abschnittsbezeichnung, Länge, Fahrstreifen je FR, DTV, mittlere Reisegeschwindigkeit Pkw; Anzahl Störfälle	Definition der einzelnen Abschnitte; Störfälle je Abschnitt
B. Netzmasche 1 B. Netzmasche 2 B. Netzmasche 3	q und v aus Umlegung (bzw. aus DTV und abgeleitet aus analytischer Methode) Stärke der Zielverkehre und Aufteilung am Entscheidungspunkt (im Normalzustand);	Repräsentatives stundenbezogenes Verkehrsszenario: Reisezeit je Route, verkehrsszenariospezifische Restkapazität; Verkehrsszenariospezifisches Beeinflussungspotential
C. Szenario	Häufigkeit, Dauer, Ort (BAB-Abschnitt), Ausdehnung der Störung, szenariospezifischer Stundenanteil vom DTV (abhängig von der Dauer der Störung)	Angaben zum Störfallszenario; Bestimmung der Steuerungsstrategie und des beeinflussten Verkehrs je Netzmasche
EWS Nutzenkomponenten		Zur Berechnung der Zeit- und Betriebskosten [FGSV, 1997]
Wirkung NBA		Endergebnis

Tabelle 5-2: Anwendungsschritte der Excel-Datei, *NBA Wirkungsschätzung Verkehrsfluss.xls*

Wie in Arbeitsschritt 6 beschrieben, ist es erforderlich Störfallszenarien zu definieren. Dazu werden im Einzelnen benötigt:

- Störungstyp
- durchschnittliche Dauer des Störfallszenarios
- Ort bzw. Abschnitt in dem der Störfall auftritt
- räumliche Ausdehnung
- jährliche Häufigkeit
- Angaben zum Verkehrsszenario in dem der Störfall auftritt (z.B. Morgen-, Abendspitze, Tagesverkehr, ggf. Ereignisse), u.a. Schwerverkehrsanteil

Die Analyse der Störungssituationen im Untersuchungsraum ergab als typisches Störfallszenario einen werktäglichen Stau (inkl. stockenden Verkehr) während der Abendspitze auf der A 5 zwischen AK Darmstadt und AS Da.-Eberstadt in Fahrtrichtung Süden (durchschnittliche Dauer zwei Stunden, durchschnittliche Ausdehnung ca. 3 km). Die Häufigkeit dieses Störfalls beträgt 166 Störungen pro Jahr.

Zielströme, die durch die NBA beeinflusst werden können, sind:

- Stuttgart, Karlsruhe, Basel (Netzmasche: AK Darmstadt – AK Walldorf)
- Heidelberg (Netzmasche: AK Darmstadt – AK Heidelberg)
- Mannheim (Netzmasche: AK Darmstadt – AK Viernheim)

Für die definierten Netzmaschen der durch die NBA beeinflussbaren Zielströme (Entscheidungspunkt ist das AK Darmstadt) wurden abschnittfein die stündlichen Verkehrsstärken und Reisezeiten modelliert. Anschließend wird zu jedem beeinflussbaren Zielstrom das verkehrsszenariospezifische Beeinflussungspotential und die tatsächlich beeinflussten Verkehrsanteile  $\Delta U$  ermittelt. Jede definierte Steuerungsstrategie ergibt die tatsächlich umleitbare Verkehrsstärke jeder durch die Strategie beeinflussten Netzmasche. Die Verkehrsstärken auf den Abschnitten der gestörten Normalroute werden um den beeinflussten Verkehrsanteil reduziert, auf den Abschnitten der Alternativroute werden die umleitbaren Verkehre addiert.

Für die Ermittlung des Nutzens aus Reisezeitveränderungen werden mittels analytischer Methoden die Auswirkungen des Störfalls auf die Reisezeit abschnittsfein ermittelt. Insgesamt ergibt sich aus dem Vergleich zwischen Störfall und Beeinflussungsfall ein Nutzen aus Reisezeitveränderung zu 101.218 € pro Jahr.

Für die Ermittlung des Nutzens aus veränderlichen Fahrzeugbetriebskosten werden die zusätzlichen Betriebskosten infolge zusätzlicher Fahrleistungen ermittelt. Aus dem Vergleich zwischen Störfall und Beeinflussungsfall ergibt sich ein negativer Nutzen aus Reisezeitveränderung zu -63.488 € pro Jahr.

Im Hinblick auf die jährlichen Zeit- und Fahrzeugbetriebskosten kann insgesamt ein positiver Nutzen der NBA am AK Darmstadt nachweisen werden (37.730 € pro Jahr). Die insgesamt eher niedrig einzuschätzenden Wirkungen auf den Verkehrsfluss sind ähnlich wie beim angewendeten Verfahren für die Verkehrssicherheit auf die bereits existierende NBA im Untersuchungsgebiet zurückzuführen (siehe Kapitel 5.1.3).

### 5.2.3 Bewertung der Verfahrensanwendung

Prinzipiell kann das Verfahren zur ex-ante-Ermittlung der Zeitkosten wie in [FGSV, 2007b] beschrieben angewendet werden. Die Beschreibung des Verfahrens überlässt dem Anwender Interpretationsspielraum und ist in den meisten Arbeitsschritten offen bei der Umsetzung. Allerdings ergeben sich bei der Anwendung des Verfahrens Schwierigkeiten, die auf Defiziten der sehr allgemein formulierten Verfahrensbeschreibung beruhen:

- der Eindeutigkeit der Definitionen und Beschreibungen
- logischer Verknüpfung der Arbeitsschritte
- Annahmen, Vorgaben sowie Verweise auf weitere Verfahren und Methoden
- Aufwand der Datenbeschaffung, -aufbereitung bzw. -bearbeitung

Die Erstellung und Anwendung eines Verkehrsmodells eigens zur Generierung von repräsentativen stundenbezogenen Verkehrsszenarien mittels Umlegung der OD-Matrix erzeugt einen äußerst hohen Aufwand, der im Rahmen einer Vorabschätzung der Wirkungen schwer zu leisten ist. Die Qualität und Genauigkeit der modellierten Verkehrsgrößen ist in hohem Maße von der Kalibrierung des Modells und von den zur Verfügung stehenden Messdaten abhängig. Somit wird durch die Forderung zur Anwendung eines Verkehrsmodells für die Verfahrensanwendung eine (flächendeckende) Verkehrsdatenerfassung im Untersuchungsraum vorausgesetzt. Zudem werden bei der Umlegung der einzelnen Zielströme durch das Verkehrsmodell entscheidende Einflussgrößen auf die Routenbefolgung nicht berücksichtigt (z.B. statische Wegweisung, Ortskundige, etc.). Dadurch können Abweichungen zur realen Routenbelastung entstehen.



Anstelle der mittels eines Verkehrsmodells generierten, repräsentativen Verkehrsdaten lassen sich die benötigten Daten auch aus abschnittfeinen DTV-Werten ableiten. Diese Methode ist

wesentlich einfacher und liefert qualitativ hochwertige und für das Verfahren völlig ausreichende Datengrundlagen.

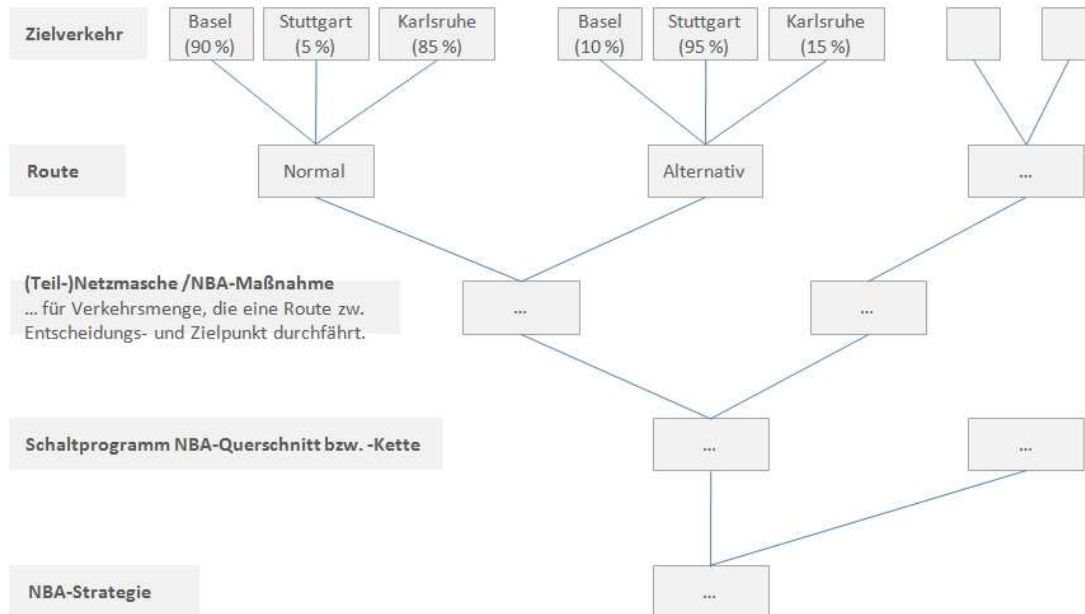


Abbildung 5-3: Beispielhaftes Schema für eine Definition der einzelnen NBA-Funktionen auf strategischer Ebene

Ein Defizit des Verfahrens ist das Fehlen einer grundsätzlichen Definition der einzelnen NBA-Funktionen auf strategischer Ebene (siehe Abbildung 5-3).

schätzung benötigten Umfelddaten gemäß TLS [BASt, 2002] erhoben.

### 5.3 SBA – Verkehrssicherheit

#### 5.3.1 Testfeld SBA

Das Testfeld zur Vorabschätzung der Wirksamkeit von SBA ist die A 9 München Richtung Nürnberg zwischen dem AK Neufahrn und dem AD Holledau (siehe Abbildung 5-4). Der zu untersuchende Streckenabschnitt ist 34 km lang. Auf dem Abschnitt befinden sich die beiden Anschlussstellen Allershausen und Pfaffenhofen. Ein SBA Ausbau ist für das Jahr 2009 geplant. Die bereits bestehende SBA zwischen AS München-Freiman und AK Neufahrn wird durch den Ausbau verlängert. Der beeinflusste Abschnitt wird dann eine Länge von ca. 47 km betragen.

Dieses Testfeld eignet sich gut zur Durchführung einer Wirksamkeitsschätzung, da auf den betroffenen Abschnitten bereits Verkehrsdaten an Dauerzählstellen erhoben werden. Bei der Durchführung der Vorabschätzung kann somit auf historische Daten zurückgegriffen werden. Ein weiterer Vorteil dieses Testfeldes besteht darin, dass in der Gegenrichtung bereits eine SBA aktiv ist. Hier werden die für die Verfahren zur Wirksamkeits-



Abbildung 5-4: Testfeld SBA: A 9 bei München Fahrtrichtung Nord [GooglePro]

Daten zum Unfallgeschehen dieses Abschnittes sind vorhanden.

Der Untersuchungszeitraum für die Vorabschätzung der Verkehrssicherheit wurde auf die Jahre 2005-2007 festgelegt. Das Anwendungsbeispiel konnte jedoch nur für das Jahr 2007 durchgeführt werden, da für die anderen beiden Jahre keine Umfelddaten vorlagen. Der Untersuchungszeitraum für die Vorabschätzung bezüglich der Wirkung auf den Verkehrsfluss ist ebenfalls das Jahr 2007.

### 5.3.2 Softwaretechnische Implementierung

Die Excel-Datei zur Berechnung der Wirksamkeits-schätzung von SBA (*SBA Wirksamkeitsschätzung.xls*) beinhaltet die drei in [FGSV, 2007b] vorgeschlagenen Verfahren:

- Unfallkosten
- Zeitkosten – verkehrsflussbedingt
- Zeitkosten – unfallbedingt

Alle Felder, die Eingangsdaten vom Anwender benötigen, sind weiß hinterlegt. Die hellgrau hinterlegten Werte berechnen sich automatisch.

Die Eingangsgrößen nach Hinweispapier [FGSV, 2007b] sind türkis hinterlegt. Diese Parameter können, falls die Werte in der Richtlinie aktualisiert werden, auch in dem Excel Tool angepasst werden.

Unter dem Punkt Gesamtstrecke werden die Werte für alle Abschnitte zusammengefasst. Die Berechnung findet automatisch statt.

Falls nur eine Auswertung für die Gesamtstrecke gemacht werden soll, so ist dies wie ein Streckenabschnitt zu behandeln und muss als ein Abschnitt eingetragen werden. Der Gesamtnutzen berechnet sich immer aus der Summe der Nutzen aller Einzelabschnitte.

Die Vorgehensweise zur Bewertung der Anlage ist in die folgenden 5 Schritte unterteilt.

#### Schritt 1: Übersicht

In dem Übersichtsblatt müssen alle zu untersuchenden Abschnitte eingegeben werden (Name, Abschnittslänge, Anzahl der Fahrstreifen und Kapazität nach HBS). Diese Informationen werden zum Teil für alle drei Verfahren benötigt und direkt in den nachfolgenden Excel-Blättern übernommen. Die Kapazität nach HBS muss in Abhängigkeit von dem durchschnittlichen Schwerverkehrsanteil und der Längsneigung eingetragen werden. Ein Auszug der relevanten Tabellen des HBS ist der Excel-Datei beigelegt.

Es können bis zu acht Autobahnabschnitte mit der Excel-Datei berechnet werden. Es ist darauf zu achten, dass Streckenabschnitte mit gleicher Anzahl an Fahrstreifen gewählt werden. Andernfalls

ist die Zuordnung von fahrstreifenabhängigen Parametern, die im Hinweispapier [FGSV, 2007b] vorgeschlagen werden, nicht eindeutig.

#### Schritt 2: Berechnung der Unfallkosten

Je Abschnitt müssen die Eingangswerte in das Tabellenblatt „Unfallkosten“ eingegeben werden (Fahrleistung während Nebel, Anzahl Unfälle aufgrund von Nebel, Unfallrate(PS) im Nebel, DTV, U(PS) gesamt, U(SS) gesamt).

##### Schritt 2.1: Prognostizierte Verkehrsstärke

Im Excel-Blatt „*prognostizierte Verkehrsdaten*“ werden die Verkehrsstärken für das Prognosejahr bestimmt. Sie sind relevant für die Berechnung der Unfallkosten.

Falls prognostizierte Werte in die Berechnung mit einfließen sollen, ist der Faktor „Veränderungen gegenüber dem Bezugszeitraum“ entsprechend der prozentualen Veränderung der prognostizierten Verkehrsstärke zu der Verkehrsstärke im Bezugszeitraum zu wählen. Es kann optional auch direkt ein Prognosewert unter „DTV prognostiziert“ eingetragen werden. Wenn keine Prognose gewünscht ist, so setzt man den Faktor „Veränderungen gegenüber dem Bezugszeitraum“ auf Null.

#### Schritt 3: Berechnung der verkehrsflussbedingten Zeitkosten

In dem Tabellenblatt „*Verkehrsbedingte Staustunden*“ zur Berechnung der verkehrsflussbedingten Staustunden müssen die gesamte Staudauer und die mittlere Staulänge je Abschnitt eingetragen werden.

#### Schritt 4: Berechnung der unfallbedingten Zeitkosten

In dem entsprechenden Tabellenblatt „*Unfallbedingte Staustunden*“ müssen die Gesamtreisezeiten eingetragen werden, die durch einen unfallbedingten Stau im Untersuchungszeitraum verursacht wurden.

Um die Reisezeiten zu ermitteln, müssen alle Unfälle einzeln im unteren Teil des Tabellenblattes eingetragen werden. Es muss zu jedem Unfall der Abschnitt, die beteiligten Fahrzeuge, die Unfallschwere und die dem Unfall zufließende Verkehrsstärke eingetragen werden. Mit dem „+“ können weitere Eingabefelder geöffnet werden. Die Gesamtsumme der Reisezeiten wird je Abschnitt ermittelt und im oberen Teil des Tabellenblattes unter „Gesamtreisezeit aufgrund von unfallbedingtem Staus“ übernommen. Optional können hier auch direkt Werte eingetragen werden, falls diese über andere Methoden (z.B. über Ganglinien oder Detektordaten) ermittelt wurden.

#### Schritt 5: Zusammenfassung

In dem Excel-Blatt „*Zusammenfassung*“ wird eine Übersicht über alle Nutzenbeiträge der drei Be-

reiche gezeigt. Dieses Excel-Blatt kann als Übersicht der ex-ante Wirksamkeitsschätzung einer SBA ausgedruckt werden.

### 5.3.3 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

Für die Anwendung des Verfahrens zur Abschätzung der Unfallkosten beim Einsatz von SBA nach Siegner [2000] werden die folgenden Eingangswerte benötigt:

- Anzahl Fahrstreifen
- Länge des Abschnittes
- Fahrleistung während Nebel
- Anzahl Unfälle aufgrund von Nebel
- DTV
- U(PS) gesamt
- U(SS) gesamt

bzw.

- UR(PS) gesamt
- UR(SS) gesamt

Im Hinweispapier [FGSV, 2007b] ist für die Erhebung der Unfälle bei Nebel keinerlei Vorschlag beschrieben. Es wurden deshalb drei Schritte zur Erhebung dieser Daten vorgenommen:

*Schritt 1:* Auswertung der Unfalldatenbank

*Schritt 2:* Abgleich zwischen Daten der Sichtweitemessungen und der Unfallzeitpunkte

*Schritt 3:* Anforderung der detaillierten Unfallberichte

Es wurde eine Auswertung der Unfalldatenbank bezüglich Unfälle aufgrund von Nebel durchgeführt (Unfallursache allgemein → Witterungseinflüsse → Nebel). Nach dieser Auswertung wurde kein Unfall bei Nebel identifiziert. Es lag nun die Vermutung nahe, dass ggf. bei der Aufnahme des Unfallhergangs bzw. bei der Übertragung in die Datenbank dieses Kriterium nicht beachtet wurde. Deshalb wurde für die Erhebung der erforderlichen Unfalldaten in einem zweiten Schritt ein Abgleich zwischen allen Unfallzeitpunkten und Zeitintervallen mit Nebelereignisse durchgeführt.

Es wurde definiert, dass ein Nebelereignis dann vorliegt, wenn die Sichtweite kleiner als 400 m ist (in Anlehnung an das MARZ Kapitel 2.3.2.2.2 Sichtweite [BAST, 1999]). Weiterhin wurde mit einem Mitglied des Betreuungsausschuss abgestimmt, dass sobald mindestens ein Sichtweitemessgerät auf dem zu untersuchenden Abschnitt (von Anschlussstelle zu Anschlussstelle) eine Sichtweite kleiner als 400 m misst, für den kompletten Abschnitt ein Nebelereignis angenommen wird. Der so gefilterte räumliche und zeitliche Korridor wurde als Vergleich mit den Unfallzeitpunkten

der Unfalldaten herangezogen und es wurde geprüft, ob sich während dessen ein Unfall ereignet hat.

Es ist allerdings nicht gewährleistet, dass bei einer Sichtweite unter 400 m auch tatsächlich ein Nebelereignis vorlag. Oftmals behindert starker Regen oder Schneefall die Sicht. Dies ist somit genaugenommen kein Nebelereignis.

Deshalb wurde nach der Filterung aller Unfälle während einer Sichtweite kleiner als 400 m die entsprechenden Unfallberichte angefordert und die Schilderung des Unfallhergangs auf Nebelereignisse hin analysiert. Nach dieser zeitaufwändigen Prozedur hat sich herausgestellt, dass auch in den Unfallberichten keinerlei Hinweise auf Nebel gegeben wurden. Es konnten somit **keine** Unfälle aufgrund von Nebel identifiziert werden.

Um die UR ohne Nebel festzustellen, muss zusätzlich zu den Unfällen bei Nebel auch die Fahrleistung bei Nebel ermittelt werden.

Die UR der Personenschäden ohne Nebel wird wie folgt berechnet:

$$UR(P)_{ohneNebel} = \frac{U_{Gesamt} - U_{Nebel}}{FL_{Gesamt} - FL_{Nebel}}$$

Formel 5-1: UR der Personenschäden ohne Nebel

Da die 3-Minuten feinen Umfelddaten nur aus dem Jahre 2007 zur Verfügung standen, konnte das Verfahren nur für dieses Jahr durchgeführt werden.

Es ist anzumerken, dass für die Auswertung der Unfalldaten nicht die Standardauswertung der bayerischen Straßenbauverwaltung verwendet wurde. Diese steht für das Jahr 2007 noch nicht zur Verfügung. Es wurden die Auswertungen der Unfalldatenbank und die DTV-Werte der Dauerzählstellen verwendet um die Unfallraten zu berechnen. Für die Standardauswertung werden allerdings einige Unfälle herausgefiltert, die in den hier verwendeten Daten noch enthalten sind. Somit sind die hier berechneten Unfallraten etwas höher als diejenigen in den Standardauswertungen.

Die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden im Fall ohne SBA lagen auf einem Abschnitt bereits unter 0,12 Unfälle je 10<sup>6</sup> Kfz-km. In diesem Fall konnte auch kein weiterer Nutzen aufgrund von SBA ermittelt werden. Da im Vorherzeitraum auch keine Unfälle aufgrund von Nebel aufgetreten sind, konnten hier keine Nutzenbeiträge erzielt werden.

Das Ergebnis der Verfahrensanwendung ist, dass mit einer SBA im Jahr 2007 ein Nutzen von 3.407.666 € durch die Verbesserung der Verkehrssicherheit hätte erzielt werden können. Der Nutzen ist auf eine Verringerung der UR mit Personenschaden ohne Nebel von 0,196 auf die im Hinweispapier [FGSV, 2007b] vorgeschlagenen 0,12 Un-

fälle je  $10^6$  Kfz-km und einem 15 %-igen Rückgang der UR mit schwerem Sachschaden von 0,18 auf 0,15 Unfälle je  $10^6$  Kfz-km zurückzuführen.

### 5.3.4 Bewertung der Verfahrensanwendung

Das Verfahren zur Ermittlung der Wirksamkeit einer SBA auf die Unfallkosten ist nur teilweise als gut anwendbar und umsetzbar zu bewerten.

Der größte Aufwand bei der Anwendung des Verfahrens ist, die Unfälle aufgrund von Nebel und die Fahrleistung bei Nebel festzustellen. Dies ist auch mit vorhandenen Daten von Sichtweitemessgeräten kaum realitätsgetreu nachvollziehbar. Die Sichtweite kann neben Nebel auch durch starken Regen und Schneefall reduziert oder ggf. auch durch Messfehler beeinflusst werden. Die Qualität dieser Ergebnisse ist somit stark fehleranfällig.

Die DTV-Werte und die Unfallraten sind einfach zu erheben, da sie im Regelfall gut von den einzelnen Ländern in Unfallstatistiken gepflegt werden.

Das Endergebnis der Wirksamkeitsschätzung ist somit als grober Richtwert zu interpretieren.

Des Weiteren werden einige Punkte aufgeführt, die bei der Verfahrensanwendung aufgefallen sind und ggf. im Hinweispapier [FGSV, 2007b] aufgenommen oder überarbeitet werden sollten.

- Es fehlt die Definition eines Nebelereignisses bzw. eines Unfalls aufgrund von Nebel.
- Es sollten Vorschläge zur Selektion von Unfällen aufgrund von Nebel gegeben werden.
- Um einen Abgleich zwischen Messdaten der Sichtweitemessgeräte und der Unfalldaten vornehmen zu können, werden enorme Datenmengen benötigt. Dies führt zu erheblichen Aufwänden bei der Erhebung der Unfälle bei Nebel.
- Die Quantifizierung der Verkehrsstärken bzw. Fahrleistungen bei Nebel kann nur unter erheblichem Aufwand durch die Auswertung der Sichtweitemessgeräte und der Verkehrszählstellen bestimmt werden. Zudem ist diese Erhebungsart sehr fehleranfällig.
- Im [FGSV, 2007b] sollte zudem ggf. die entsprechende Formel zur Berechnung der  $UR(P)_{\text{ohneNebel}}$  aufgeführt werden.
- In der Regel wird es bei neu zu errichtenden SBA keine Witterungssensoren an der Strecke geben. Liegen keine Messdaten von Sichtweitemessgeräten vor, so ist kaum nachvollziehbar zu welchen Zeiten Nebelereignisse vorlagen.
- Die Berechnung des Nutzens durch die Reduzierung von Unfällen aufgrund von Nebel mit dem Einsatz von SBA sollte somit nur optional für die Verfahrensanwendung sein.

- Zur Berechnung des Sicherheitsgewinns der Unfälle mit Personenschaden wird nach Hinweispapier [FGSV, 2007b] die Fahrleistung des „Prognosejahres“ angesetzt. Bzgl. der Berechnung der prognostizierten Daten werden allerdings keine Hinweise gegeben. Für die Berechnung des Sicherheitsgewinns durch verhinderte Unfälle bei Nebel und Unfälle mit schwerem Sachschaden werden keine Prognosewerte verwendet.
- Es wird kein Hinweis gegeben, wie man die Untersuchung durchführen kann, wenn zum Zeitpunkt der Wirksamkeitsschätzung noch keine Verkehrsdatendetektion vorliegt.

## 5.4 SBA – Verkehrsfluss

### 5.4.1 Softwaretechnische Implementierung

Die Softwaretechnische Implementierung wurde in der Excel-Datei *SBA Wirksamkeitsschätzung.xls* umgesetzt. Es beinhaltet alle drei Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung von SBA. Detailliert ist die Excel-Datei in Kapitel 5.3.2 erläutert.

### 5.4.2 Teil 1: Zeitkosten – Verkehrsbedingte Stautunden

#### 5.4.2.1 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

Für die Anwendung des Verfahrens zur Abschätzung der verkehrsbedingten Stautunden beim Einsatz von SBA werden die folgenden Eingangswerte für das Jahr 2007 benötigt:

- Gesamte Staudauer pro Jahr
- Mittlere Staulänge
- Mittlere Kapazität des Engpasses (nach HBS [FGSV, 2001])

Für die Verfahrensanwendung wurden Staus aufgrund von Unfällen herausgefiltert.

Die Stau- und Störungsdaten der Landesmeldestelle lagen für diese Untersuchung nicht vor. Allerdings werden von der ABDS minutengenaue Verkehrsdaten der A 9 für den Untersuchungszeitraum zur Verfügung gestellt. Basierend auf diesen Verkehrsdaten wurde die räumliche und zeitliche Ausbreitung eines Staus (Staulänge/Staudauer) gemessen.

Eine Störung wurde vereinfacht dann angenommen, wenn die Geschwindigkeit kleiner als 50 km/h gemessen wurde. Im Hinweispapier [FGSV, 2007b] gibt es dazu keine näheren Angaben. Der Geschwindigkeitsschwellenwert von 50km/h wurde deshalb gewählt, da im Hinweispapier eine durchschnittliche Staugeschwindigkeit von 30 km/h angenommen wurde. Eine andere Definition einer Störung wäre ebenfalls möglich (vgl. Glossar).

Es gab im Jahr 2007 nach diesem Verfahren für alle Fahrzeuge kumuliert auf der Teststrecke A 9 eine Staureisezeit von 479.497 h. Durch eine SBA könnten nach [FGSV, 2007b] 5 % der Staureisezeiten vermieden werden und somit die Staureisezeit auf 455.522 h reduziert werden. Der Nutzen durch eine SBA entspräche somit 23.975 h verhinderten Stautunden für das Jahr 2007.

#### 5.4.2.2 Bewertung der Verfahrensanwendung

Das Verfahren ist prinzipiell sehr einfach anzuwenden, insofern die benötigten Eingangsdaten zur Verfügung stehen.

Die folgenden Punkte sind während der Anwendung aufgefallen und sollten ggf. überarbeitet werden:

- Im Hinweispapier [FGSV, 2007b] wurde keine Aussage zu dem Begriff „Störung“ gemacht. Es fehlt dem Anwender eine klare Definition zur Identifizierung von Störungen, falls die Staudaten von der Landesmeldestelle nicht zur Verfügung stehen.
- In diesem Verfahren wird von der Staulänge und der Kapazität des Engpasses auf die Anzahl der vom Stau betroffenen Fahrzeuge geschlossen. Die „Kapazität des Engpasses“ bedeutet hier die Kapazität der Straße, da der Stau auf eine Überlastung und nicht durch eine Verengung zurückzuführen ist. Diese Begrifflichkeit „Kapazität des Engpasses“ könnte ggf. im Hinweispapier [FGSV, 2007b] überarbeitet werden.
- Die Anzahl an betroffenen Fahrzeugen wird über den Abfluss aus dem gestauten Bereich ermittelt. Der Abfluss wird angenommen als die „mittlere Kapazität des Engpasses“. Da der Durchsatz bei verkehrsbedingtem Stau stark variiert und nicht zwangsläufig der Kapazität des Abschnittes entspricht, ist die Annahme eines fixen Wertes nach HBS [FGSV, 2001] bzw. aus Datenanalysen nur bedingt realitätsnah.

Insofern auf der zu bewertenden Strecke bereits Verkehrsdetektion besteht, könnten die Staudauer und Staulänge auch über ein Verkehrsflussmodell ermittelt werden. Sowohl die räumliche und zeitliche Ausbreitung des Staus, als auch die durchschnittliche Staugeschwindigkeit können so realitätsgetreu berechnet werden. Es könnte somit eine genauere Aussage über die vom Stau betroffenen Fahrzeuge und die daraus resultierende Reduzierung der Reisezeiten gemacht werden.

### 5.4.3 Teil 2: Zeitkosten – Unfallbedingte Stautunden

#### 5.4.3.1 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

Zur Ermittlung der unfallbedingten Stautunden müssen alle Unfälle, die sich in dem Untersuchungszeitraum 2007 ereignet haben, untersucht werden. Hierbei müssen für jeden Unfall die folgenden Werte erhoben bzw. ermittelt werden:

- Restkapazität des Abschnitts
- Anzahl der am Ende der Unfallräumung gestauten Kfz
- Staulänge
- Zeitverluste aus Zufluss-/Abflusssummen

Die Staureisezeit aller Kfz aufgrund von unfallbedingtem Stau lag bei 384.439 h für das gesamte Jahr 2007. Eine SBA kann nach den Angaben aus dem Hinweispapier [FGSV, 2007b] 30 % aller Unfälle verhindern. Demnach würde sich die Staureisezeit auf 269.107 h reduzieren. Mit einer SBA auf der Teststrecke A 9 im Jahr 2007 hätte demnach ein Reisezeitnutzen von 115.332 h, durch die Verringerung von Stauereignissen, bedingt durch Unfälle, erzielt werden können.

#### 5.4.3.2 Bewertung der Verfahrensanwendung

Bei der Anwendung des Verfahrens sind die folgenden Punkte aufgefallen, die ggf. überarbeitet werden sollten:

- Nach [FGSV, 2007b] wird die „mittlere Staulänge“ aus den gestauten Fahrzeugen **am Ende** der Unfallräumung berechnet. Als vereinfachtes Beispiel zur Verdeutlichung dieses Punktes soll ein Unfall mit der Dauer von einer Stunde dienen. Es liegt ein Kapazitätsengpass von 3.000 Kfz/h, bedingt durch den Unfall, vor. Ohne Unfall soll die Kapazität 5.000 Kfz/h betragen. Es wird weiterhin ein gleichmäßiger Zufluss von 4.000 Kfz/h angenommen. Die am Ende der Unfallräumung gestauten Fahrzeuge wären hier 1.000 Kfz, die sich innerhalb einer halben Stunde wieder abbauen würden. Die Fahrzeuge haben sich allerdings nicht von der ersten Minute an gestaut sondern im Verlauf der Stunde, in diesem Beispiel, linear auf und dann wieder abgebaut (vgl. Abbildung 5-5). Die mittlere Anzahl der gestauten Kfz würde hier bei 500 Kfz liegen und nicht bei 1.000 Kfz. Somit würde auch die mittlere Staulänge in diesem Fall um das doppelte überschätzt werden.

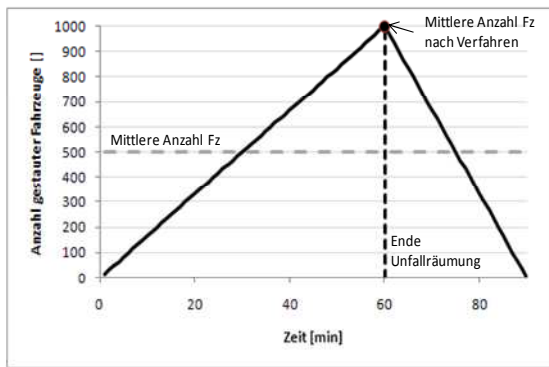


Abbildung 5-5: Anzahl gestauter Kfz für einen fiktiven Beispielfall

zwei verschiedene Methoden zur Berechnung verwendet werden. Es wäre sinnvoll beide Verfahren auf eine einheitliche Berechnung umzustellen.

Die beschriebenen Punkte führen zu einer oft sehr unplausiblen Rekonstruktion der Staulänge und Staudauer. In nachfolgendem Beispiel wird dieser Punkt verdeutlicht. In der folgenden

Abbildung 5-6 ist, am Beispiel des Contourplots vom 14.02.2007 ein Stau, der aufgrund eines Unfalls entstanden ist, zu sehen (diese Verkehrslagerekonstruktion wurde mit dem Lighthill, Whitham und Richards Verkehrsflussmodell erstellt). Das überlagernde quadratische Kästchen stellt die Staulänge und –dauer, die nach dem Verfahren ermittelt wurde, dar (Stausituation nach Verfahren). Es ist zu erkennen, dass die mittlere Staulänge und –dauer zwischen Realität und Verfahren sehr stark voneinander abweichen.

- Die Staulänge wird in diesem Verfahren über die Anzahl der betroffenen Kfz, Anzahl an Fahrstreifen und durchschnittlicher Länge der Fahrzeuge berechnet. Das Verfahren zur Abschätzung der **verkehrsbedingten** Stautunden stellt die Staulänge als gegeben voraus und errechnet die Anzahl der betroffenen Fahrzeuge aus der „Kapazität des Engpasses“. Dem Anwender wird nicht klar, warum

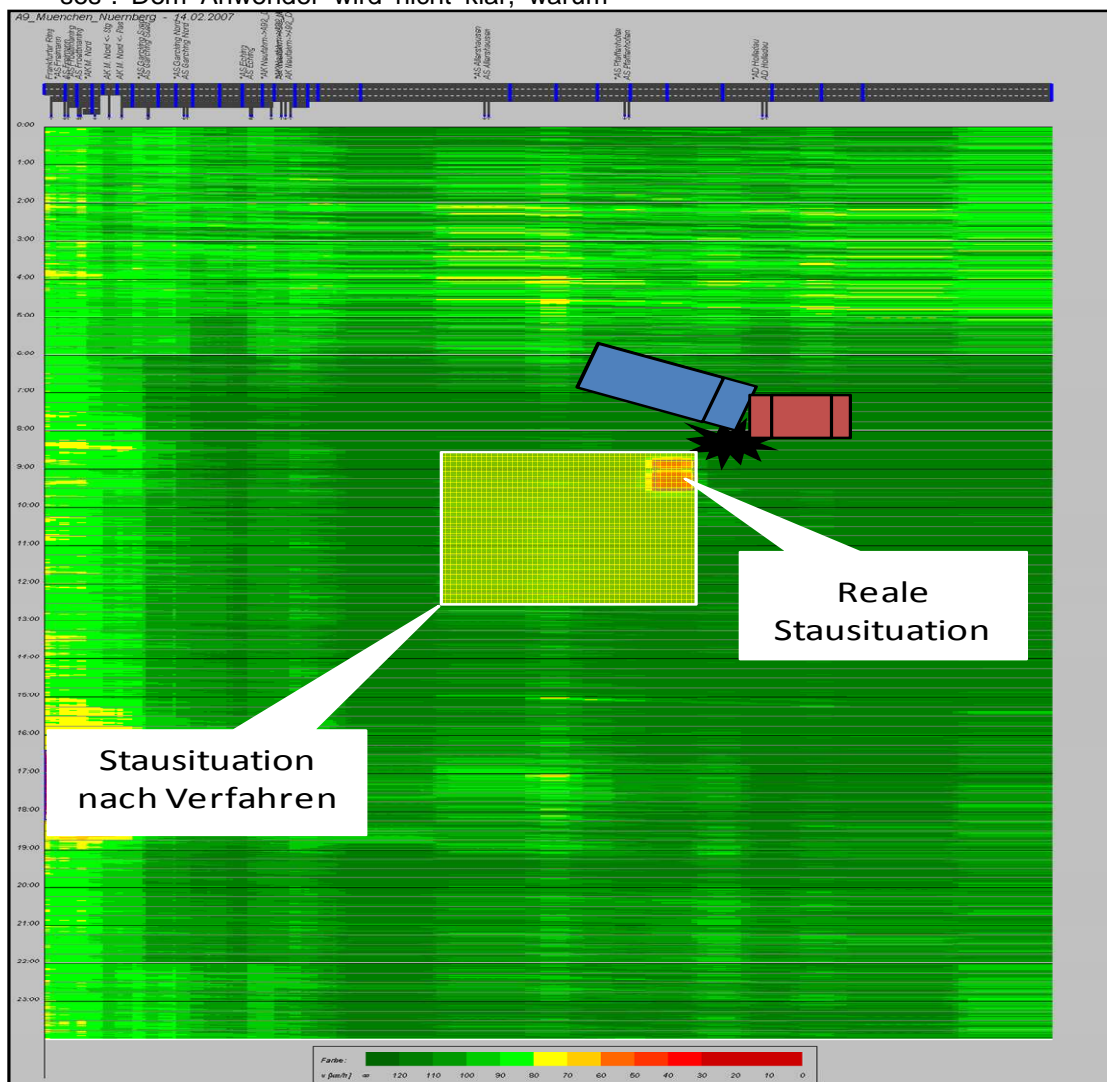


Abbildung 5-6: Reale Stausituation und nachberechnete Stausituation nach [FGSV, 2007b] aufgrund eines Unfalls





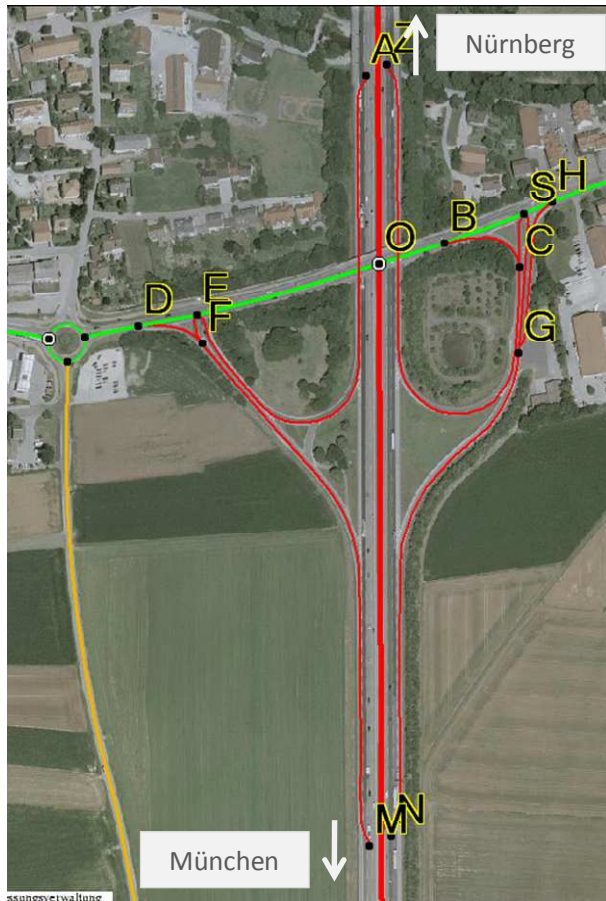


Abbildung 5-8: Testfeld KBA (ZFR): AS Allershausen (A 9) [Bayrische Vermessungsverwaltung]

Aufgrund der bereits vorhandenen SBA ist der Knotenpunkt mit Induktionsschleifen auf der HFB vor und nach der Einfahrt und auf der Rampe ausgestattet. Es werden die Verkehrsdaten des Zeitraums November 2007 – Januar 2008 verwendet. Unfalldaten liegen in einer Datenbank bei der Autobahndirektion Südbayern von einem Zeitraum Januar 2005 – Dezember 2007 vor, und wurden für die Analyse des Verfahrens verwendet.

### 5.5.2 Softwaretechnische Implementierung

Die Excel-Datei „KBA\_Wirksamkeitsschätzung\_Verkehrssicherheit.xls“ zur vereinfachten Ermittlung der Wirksamkeit bezüglich der Verkehrssicherheit ist folgendermaßen aufgebaut:

Zunächst werden in dem Tabellenblatt „Arbeitsschritte allgemein“ die einzelnen Verfahrensschritte nochmals kurz erläutert. Sie entsprechen den

folgenden Arbeitsschritten, die auf den nächsten Tabellenblättern bearbeitet werden. Diese Schemaübersicht (vgl. Abbildung 4-4) soll als Leitfaden für die Verfahrensanwendung dienen. Die Anwendung des Verfahrens erfolgt in 4 Arbeitsschritten, die jeweils in einem eigenen Tabellenblatt durchgeführt werden. In den Tabellenblättern mit den Arbeitsschritten 1 bis 4 sind in der Schemaübersicht die zu bearbeitenden Schritte farblich hervorgehoben (Abbildung 5-9). Blau dargestellte Felder können in den Tabellenblättern ausgefüllt werden. Neben den Feldern finden sich zum Teil Anmerkungen oder Anregungen, die das Ausfüllen der blauen Felder erleichtern. Eintragungen aus vorherigen Arbeitsschritten (und somit vorherigen Arbeitsblättern) werden automatisch in die weiteren Arbeitsblätter übertragen.

In „Arbeitsschritt 3“ werden die Unfalldaten ausgewertet. Dazu empfiehlt es sich, die Unfalldaten in einem neu angelegten Datenblatt zu speichern, und diese anhand der in Excel verfügbaren Filterfunktion (sortieren und filtern – um die Datenanalyse zu vereinfachen [Excel, 2007]) entsprechend der Anweisung zu bearbeiten. Dabei sind geeignete Unfälle mit den benannten Unfallarten und -typen herauszusuchen und Unfälle mit den genannten Unfallursachen zu verwerfen. Im Arbeitsblatt „Unfallübersicht“ werden die Anzahl der Unfälle und verunglückten Personen in die entsprechenden Felder eingetragen. Eine Überprüfung, ob die Unfälle zu Zeitpunkten geschehen sind, zu denen die KBA aktiviert wäre ist noch nicht erfolgt. Dieser Schritt wird mit Hilfe des Datenblattes „Unfälle mit aktiver KBA“ und der vorher definierten Zeitintervalle („Arbeitsschritt 2“) durchgeführt. Die Unfalldaten werden erneut nach den entsprechenden Zeitintervallen untersucht und die verbleibenden Unfälle und verunglückten Personen in die entsprechenden blauen Felder des Datenblattes „Unfälle mit aktiver KBA“ eingefügt. Im Datenblatt „Arbeitsschritt 4“ werden die UR und UK automatisch berechnet. Durch den Vergleich der Unfälle mit aktiver und nicht aktiver KBA wird die Wirkung der KBA beschrieben.

Für eine übersichtliche Darstellung werden die Ergebnisse aus dem Verfahren bezüglich des Nutzens auf dem Datenblatt „Zusammenfassung Ergebnisse“ druckoptimiert dargestellt. Ein Glossar hilft bei der Abgrenzung der unterschiedlichen Unfalltypen. Die Excel-Datei kann somit auch verwendet werden, wenn die Unfallbeschreibungen in Form von Steckkarten vorliegen.



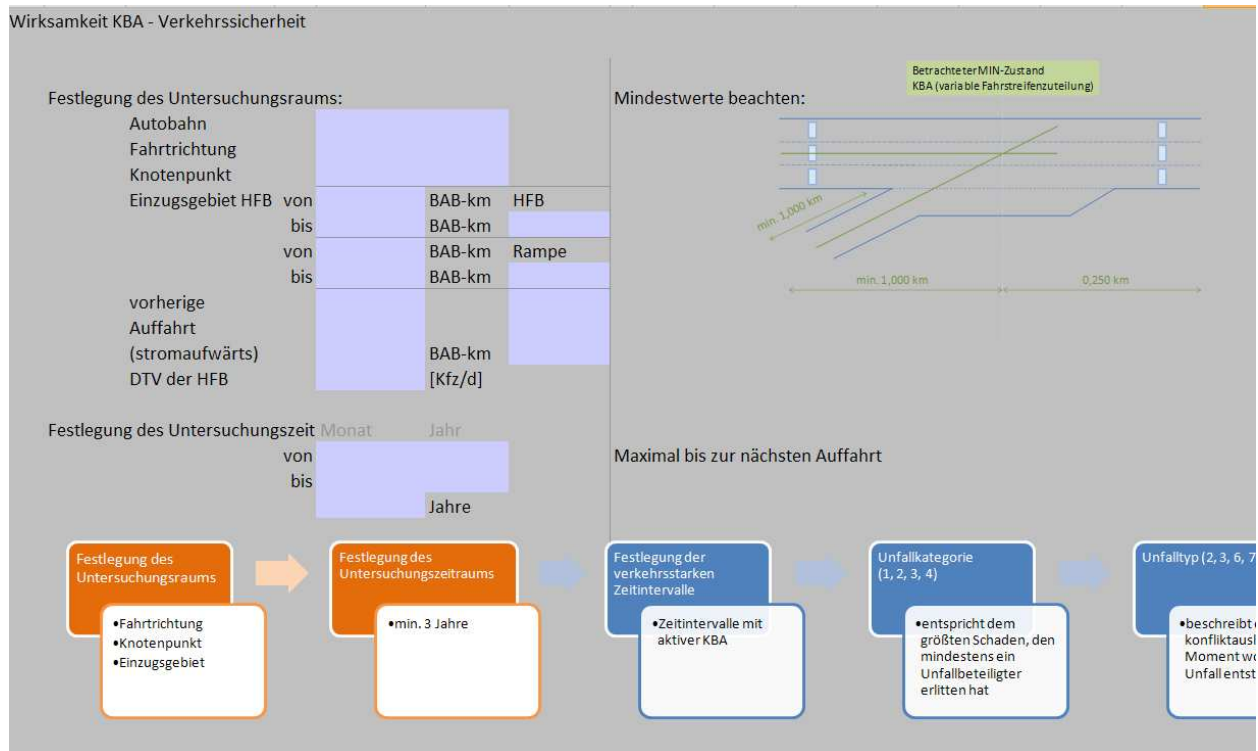


Abbildung 5-9: Ausschnitt aus der Excel-Datei zur Verkehrssicherheitsschätzung von KBA

### 5.5.3 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

#### 5.5.3.1 Variable Fahrstreifen-zuteilung

Die Bewertung des Knotenpunktes an der A12/A13 ergab folgendes Ergebnis bezüglich der möglichen Wirkung auf die Verkehrssicherheit. Die Bewertung des Knotenpunktes erfolgt mit Hilfe der Excel-Datei „KBA\_Wirksamkeitsschätzung\_Verkehrssicherheit.xls“, die in Kapitel 5.6.1 beschrieben ist. Die Unfallstatistiken in Österreich werden vom Kuratorium für Verkehrssicherheit gesammelt. Dabei werden nur Unfälle mit Personenschaden archiviert. Unfälle mit Sachschäden werden sehr lückenhaft erfasst, da diese Art von Unfällen meist nicht von der Polizei erfasst wird. In Deutschland ist die Erfassung von Unfällen mit schwerem Sachschaden genauer, aber dennoch sind auch hier Lücken bei der Erfassung dieser Unfälle zu verzeichnen.

Es liegen Unfalldaten mit Personenschaden im Zeitraum von Januar 2005 bis Dezember 2007 (3 Jahre) vor, und Unfalldaten mit Sachschaden von Januar 2005 bis Juli 2007. Das Untersuchungsgebiet der HFB (A13) erstreckt sich von BAB-km 0,00 bis BAB-km 1,20. Die Rampe (A12) wird zwischen den BAB-km 73,40 – 75,10 betrachtet. Der DTV auf diesen Abschnitten beträgt etwa 35.800 Kfz/d [ASFiNAG, 2008].

Insgesamt ereigneten sich in diesen 3 Jahren 21 Unfälle mit 15 verletzten Personen. Die UK be-

rechnen sich zu 192.977 €. Die UR für alle Unfälle in diesem Zeitraum wird zu 0,31 U/Kfz-km ermittelt.

Die durch eine variable Fahrstreifen-zuteilung adressierbaren Unfälle belaufen sich auf 12 Unfälle mit 7 verunglückten Personen. Die UK der adressierbaren Unfälle ergibt sich zu 63.924 € und die UR zu 0,18 U/Kfz-km.

Eine Schaltung der KBA in diesem Betrachtungszeitraum hätte eine Kostenersparnis von 33% ergeben können, wenn alle adressierbaren Unfälle vermieden worden wären.

#### 5.5.3.2 ZFR

Die Analyse der Unfalldaten im Zeitraum Januar 2005 bis Dezember 2007 (entspricht 3 Jahren) wurde mit Hilfe der in Kapitel 5.6.1 beschriebenen Excel-Datei durchgeführt.

Die Unfallstatistik für den BAB-Abschnitt lag bereits als Excel-Tabelle vor und wurde als neues Tabellenblatt in die Excel-Datei eingefügt.

Der betrachtete Streckenabschnitt erstreckt sich von BAB-km 498,00 – BAB-km 500,60. Der untersuchte Bereich endet noch vor der vorherigen AS um die Auswirkungen und damit verbundene Unfälle die Analyse nicht beeinflussen. Der DTV zwischen den beiden AS Pfaffenhofen und AS Allershausen beträgt 95.900 Kfz/d [BASt, 2005].

In diesem Betrachtungsraum ereigneten sich am Knotenpunkt Allershausen 212 Unfälle mit insgesamt 123 verletzten Personen. Die daraus berechnete UR liegt bei 0,77 U/Kfz-km. Die UK

betragen 1.444.345 €. Betrachtet man nur die durch eine KBA adressierbaren Unfälle, so ergeben sich folgende Werte:

- 34 adressierbare Unfälle
- 64 verletzte Personen
- UK (aus adressierbaren Unfällen) = 616.588 €
- UR (aus adressierbaren Unfällen) = 0,12 U/Kfz-km

Der Nutzen der KBA hätte für den Betrachtungszeitraum eine Ersparnis der Kosten von 42% ergeben können, wenn alle adressierbaren Unfälle verhindert worden wären.

#### 5.5.4 Bewertung der Verfahrensanwendung

Die Verfahrensanwendung gestaltet sich durch die Nutzung der Excel-Dateien als komfortabel. Die Aufteilung der Unfälle pro Jahr erhöht die Übersichtlichkeit bei der Filterung der Datenmenge. Desweiteren ereigneten sich meist an einem Knotenpunkt wenige Unfälle in einem Jahr, so dass die Anzahl der Unfälle überschaubar ist. Der Anwender muss einige Schritte manuell ausführen, dies ist jedoch mit einem vertretbaren Aufwand verbunden und ein Ablaufdiagramm unterstützt bei der Durchführung der Arbeitsschritte.

### 5.6 KBA – Verkehrsfluss

#### 5.6.1 Softwaretechnische Implementierung

Die Excel-Dateien zur Ermittlung der Wirkung bei KBA bezüglich Verkehrsfluss sind mit Hilfe eines Makros auszuführen. Der Aufbau der Excel-Dateien ist für die beiden Verfahren für Variable Fahrstreifenzuteilung und ZFR ähnlich, und wird deshalb zusammengefasst beschrieben.

Im Datenblatt „Einleitung“ befindet sich eine kurze Anleitung, wie die Excel-Datei anzuwenden ist. Zunächst müssen im Datenblatt „Hilfswerte“ die blauen Felder ausgefüllt werden. Hier werden Angaben zum Betrachtungsraum und zu Randbedingungen, beispielsweise Grenzwerte für Verkehrsstärken, angegeben. Diagramme und Erläuterungen neben den blauen Feldern erleichtern das Ausfüllen. Anschließend werden im Datenblatt „Auswertung“ in der ersten Spalte Datum und Zeitstempel eingetragen. Die Zeitstempel und das Datum dienen zur Orientierung, da sich die Zeitintervalle je nach Verfahren unterscheiden. Im Verfahren für die ZFR müssen die Daten im TLS-Format [BASt, 2002] nicht weiter aggregiert werden, da sie schon in 1-Minuten-Intervallen zur Verfügung stehen. Für das Verfahren für die variable Fahrstreifenzuteilung müssen vorab die Daten nach TLS [BASt, 2002] zu 15-Minuten-Intervallen aggregiert werden. In den Spalten B-F (Verfahren ZFR) bzw. Spalten B/C (Verfahren variable Fahrstreifenzuteilung) werden die Verkehrsstärken

und die Geschwindigkeiten eingetragen. Das Makro wird mit dem Button „Wirksamkeits-schätzung – Starten“ auf dem Datenblatt „Hilfswerte“ aktiviert. Die Ergebnisse bezüglich des Nutzens der Anlage werden nach Beendigung des Makros auf dem Datenblatt „Wirksamkeit\_KBA“ angezeigt. Auf diesem Datenblatt finden sich ebenfalls wichtige Informationen zu dem Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum. Dieses Datenblatt ist für einen Ausdruck mit allen wichtigsten Informationen zur Wirksamkeitsschätzung der Anlage geeignet.

#### 5.6.2 Ergebnisse der Verfahrensanwendung

##### 5.6.2.1 Variable Fahrstreifenzuteilung

Der Verfahrensablauf zur Abschätzung der Wirksamkeit einer variablen Fahrstreifenzuteilung bezüglich Verkehrsfluss ist in [FGSV, 2007b] beschrieben. Dabei werden die in Abbildung 5-10 gezeigten Arbeitsschritte durchgeführt.

Die Festlegung der Grundlagen, Untersuchungsraum und –zeitraum ist über die Bestimmung der Testfelder definiert. Die Verkehrsdaten in einem Zeitraum von Januar 2007 – Dezember 2007 lagen nach TLS [BASt, 2002] zur Verfahrensanwendung vor. Nach [FGSV, 2007b] ist eine Betrachtung der Verkehrsdaten von 3 Monaten ausreichen. Die Verkehrsdaten, Verkehrsstärke und Geschwindigkeit, werden zu 15-Minuten-Werten aggregiert. Mittels einer Abfrage der Verkehrsstärken zu relevanten Verkehrsbelastungsfällen wird die Häufigkeit pro Jahr berechnet. Am Knotenpunkt Innsbruck-Amras kommt es in den Morgenstunden werktags zu hohem Verkehrsaufkommen bedingt durch einen hohen Anlieferverkehr zum nahegelegenen Industriegebiet. Die Häufigkeit von Verkehrsstörungen wird mit etwa 260 pro Jahr angesetzt. Anschließend wird nach der Verfahrensbeschreibung [FGSV, 2007b] ein repräsentativer Tag ausgewertet um dann mittels der Häufigkeit der Störung pro Jahr den Nutzen hochzurechnen.

In diesem Fall konnten die Daten eines ganzen Jahres ausgewertet werden, weshalb eine Hochrechnung mittels der Häufigkeit entfallen kann.

Die Beeinflussungsfälle werden je nach den örtlichen Gegebenheiten definiert und mit Hilfe des HBS [FGSV, 2001] Kapazitätsgrenzwerte festgelegt. Für den Beeinflussungsfall werden die Kapazitäten berechnet. Die Reisegeschwindigkeiten im Null- und Beeinflussungsfall ergeben sich je nach Größe der gemessenen Verkehrsstärke und der ermittelten Verkehrsstärke in dem betrachteten 15-Minuten-Zeitintervall. Mit Hilfe der ermittelten Reisegeschwindigkeiten werden die Reisezeiten berechnet. Ein Vergleich der Reisezeiten im Beeinflussungs- und Nullfall bestimmt den Zustand der KBA. Der Nutzen der Anlage wird für aktive Schaltungen berechnet und anschließend summiert.

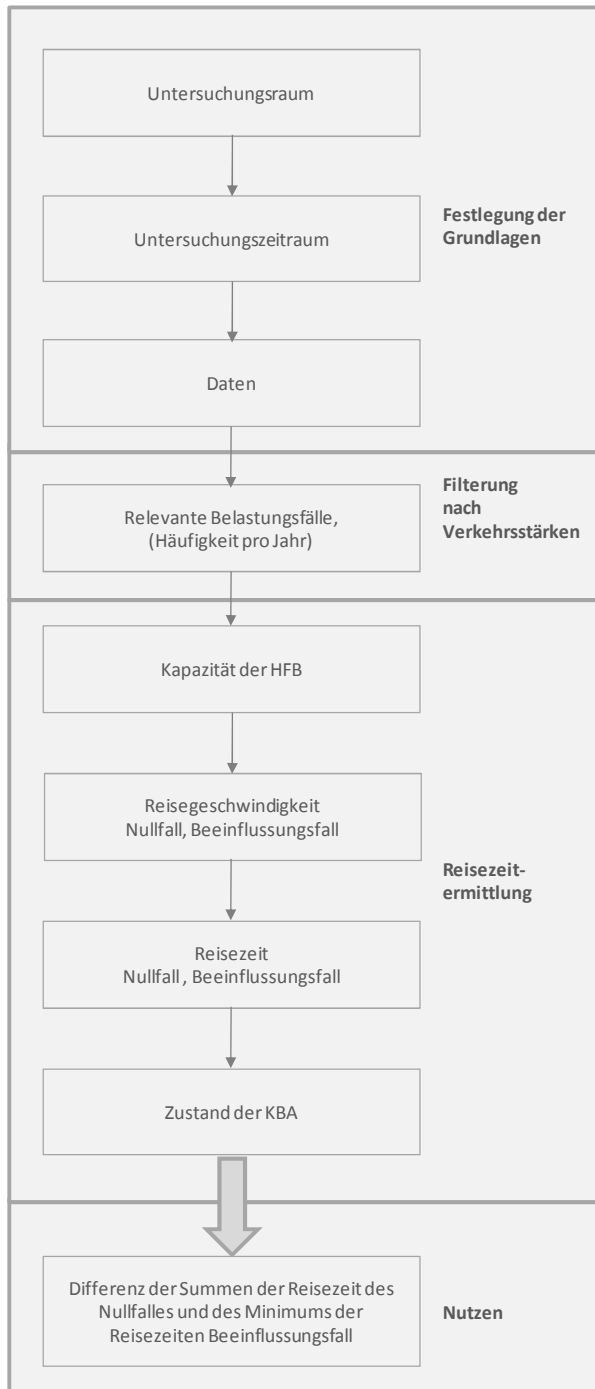


Abbildung 5-10: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirkungsermittlung: Verkehrsfluss variable FS-Zuteilung

Das nachfolgende Diagramm zeigt den Nutzen in eingesparter Reisezeit [h] je Monat der Anlage.

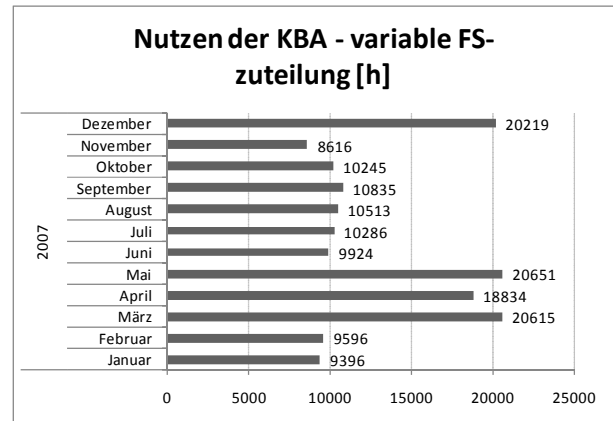


Abbildung 5-11: Vorabschätzung des Nutzens der KBA am Knotenpunkt Innsbruck-Amras, eingesparte Reisezeit [h]

Der jährliche Gesamtnutzen ergibt sich daraus zu 159.750 h eingesparte Reisezeit im Jahr 2007.

Wählt man allerdings nur einen repräsentativen Tag aus, so erhält man beispielsweise mit den Daten des 14.05.2007 (Montag) für die morgendliche Hauptbelastungszeit von 6:00 – 11:00 Uhr einen jährlichen Nutzen von 184.719 h. Die Auswertung des 21.08.2007 (Dienstag, Sommerferien) mit der gleichen morgendlichen Hauptbelastungszeit (6:00 – 11:00 Uhr) ergibt einen jährlichen Nutzen von 225.203 h. Beide Werte liegen über der Nutzenschätzung, die für das ganze Jahr 2007 berechnet worden ist.

### 5.6.2.2 ZFR

Das Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung einer KBA bezüglich Verkehrsfluss wurde am Knotenpunkt A9 AS Allershausen getestet.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich zwischen den Messquerschnitt der bei BAB-km 499,90 liegt und dem Messquerschnitt, der sich nach der Auffahrt befindet (BAB-km 500,36). Der Messquerschnitt liegt nach der Abfahrt Allershausen, so dass alle detektierten Fahrzeuge auf der HFB verbleiben. Auf der Auffahrtsrampe befindet sich ebenfalls eine Detektionsschleife, die alle auf-fahrenden Fahrzeuge erfasst. Die Auffahrtsrampe hat eine Länge von 198 m und bietet somit eine maximale Aufstellfläche für ca. 40 Fahrzeuge. Die Detektordaten der Messquerschnitte wurden für 3 Monate (Dezember 2007 – Januar 2008) ausgewertet. Eine Abschätzung des Nutzens erfolgt getrennt für jeden Monat. Die Ergebnisse des Nutzens können in Abbildung 5-12 abgelesen werden.

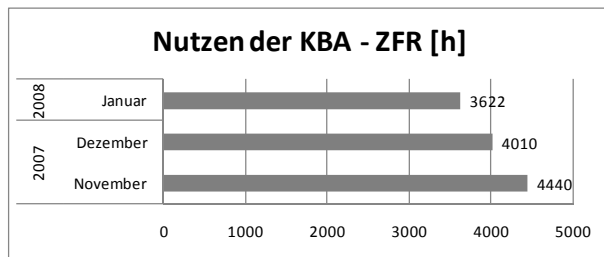


Abbildung 5-12: Vorabschätzung des Nutzens der KBA an der AS Allershausen, eingesparte Reisezeit [h]

Für einen weiteren Überblick über die Funktionsweise der möglichen Zustände der Anlage sind auch noch folgende graphische Darstellungen bezüglich des Nutzens der KBA möglich:

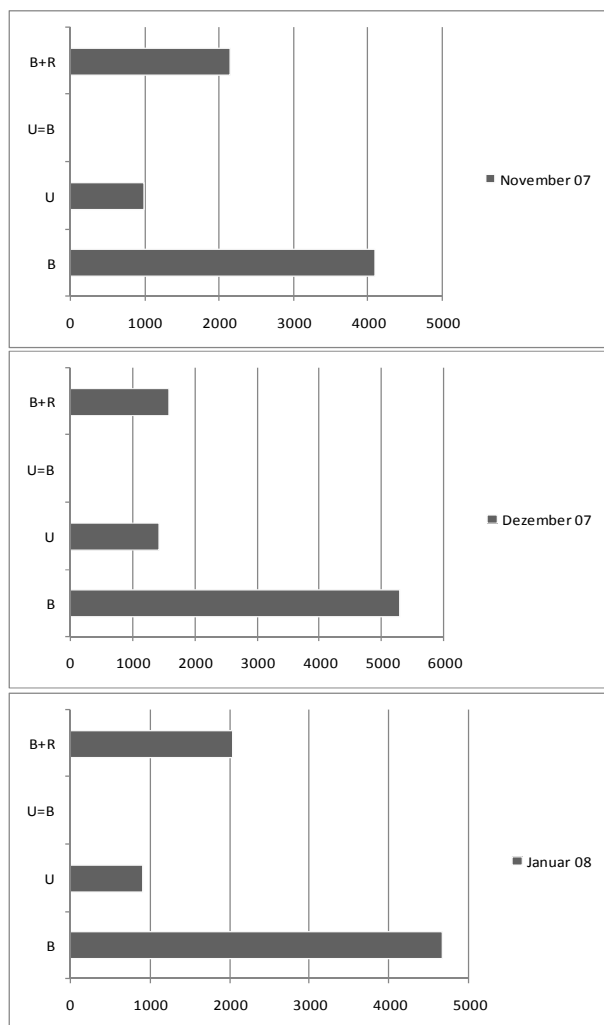


Abbildung 5-13: Darstellung der Beeinflussungsfälle der KBA je Monat

In Abbildung 5-13 sind für jeden Monat die Anzahl der Fälle dargestellt, in denen die Reisezeit mit ZFR größer ist als die Reisezeit ohne, dies entspricht dem Fall „U“ (unbeeinflusster Zustand), oder die Reisezeit mit ZFR kleiner als ohne – Fall „B“ (beeinflusster Zustand). Sind die Reisezeiten im Fall mit ZFR gleich den Reisezeiten ohne, so ist dies in den Diagrammen mit „U=B“ gekennzeichnet.

net. Überschreitet die Rückstaulänge der berechneten Warteschlange die Länge der Rampe, so sind diese Fälle mit „B+R“ gekennzeichnet.

### 5.6.3 Bewertung der Verfahrensanwendung Variable Fahrstreifen-zuteilung

Das im Hinweispapier [FGSV, 2007b] bereits beschriebene Verfahren ist klar strukturiert. Die einzelnen Arbeitsschritte sind verständlich formuliert und der Anwender kann diese nacheinander bearbeiten. Meist werden Verkehrsdaten in 1-Minuten-Intervallen gespeichert. Für das Verfahren muss deshalb zunächst eine Aggregation zu 15-Minuten-Werten erfolgen. Im Arbeitsschritt 4 und 5 des Verfahrens, werden die Definition von relevanten Verkehrsbelastungsfällen und die Definition von Beeinflussungsfällen gefordert. Die notwendige Unterscheidung zwischen „Verkehrsbelastungsfall“ und „Beeinflussungsfall“ ist nicht ganz eindeutig, da in den weiteren Verfahrensschritten nicht mehr auf diese Unterscheidung eingegangen wird. Bei der Verfahrensanwendung wurden diese beiden Zustände als gleich angenommen.

In Arbeitsschritt 3 wird festgelegt, dass Verkehrsdaten von mindestens 3 Monaten erforderlich sind. Bei der Berechnung des Nutzens der KBA wird allerdings nur ein Tag ausgewertet und dieser dann auf ein Jahr hochgerechnet (vgl. Beispiel KBA – Zeitkosten [FGSV, 2007b]).

Durch die ex-ante Berechnung des Nutzens einer variablen Fahrstreifen-zuteilung ist eine Wirksamkeitsuntersuchung auch bei unsymmetrischen Belastungen möglich. Es werden die Grenzwerte für die Belastungsfälle entsprechend gewählt und beispielsweise die betrachteten Zeitintervalle in das Datenblatt „Auswertung“ eingetragen.

## 6 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

### 6.1 Definition FMEA

Durch die Durchführung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA, engl. *Failure Mode and Effect Analysis*) werden die neu entwickelten, sowie die bereits bestehenden Verfahren evaluiert. Mit Hilfe der FMEA wird der Einfluss der Eingangsgrößen auf das Verfahren verdeutlicht. Unterschiedliche Quellen der Eingangsgrößen haben ebenfalls verschiedene Auswirkungen auf das Verfahren, dieser Zusammenhang wird durch die FMEA verdeutlicht.

FMEA basiert auf dem Grundgedanken einer vorsorgenden Fehlervermeidung anstelle einer nachfolgenden Fehlererkennung bzw. Fehlerkorrektur. Diese analytische Methode soll mögliche Probleme, Risiken und Folgen schon im Vorfeld systema-

tisch und vollständig erfassen. Das Ziel einer FMEA ist das Erkennen von Ausfällen, die unerwünschte Auswirkungen auf den Systembetrieb haben und ermöglicht eine Verbesserung der Systemfunktionsfähigkeit oder Sicherung der Qualität. Die wichtigsten Ansätze sind dabei [FMEA, 2006]:

- Analytische Vorgehensweise
- Dokumentation in normierten Formularen
- Präventivmaßnahmen
- Ansetzen in einer möglichst frühen Produktentstehungsphase
- Durchführung in Teams
- Methode von der Fehlerkorrektur zur Fehlerprävention
- Vorbeugende Qualitätsmethode

- Methode zur Analyse, Bewertung und Minimierung von potenziellen Risiken

Es gibt unterschiedliche Arten wie eine FMEA durchgeführt wird. Üblicherweise werden die Ausfallarten bestimmt, die entsprechenden Ursachen sowie die Auswirkungen ermittelt. Die Ergebnisse der Analyse können unterschiedlich dargestellt werden.

### 6.2 Ablauf einer FMEA

Eine FMEA erfolgt iterativ in mehreren Schritten. Folgende Graphik zeigt die Arbeitsschritte, die bei der FMEA in vorliegendem Projekt abgearbeitet wurden.

Der in Abbildung 6-1 dargestellte Ablaufplan dient als Arbeitsgrundlage für die Durchführung der FMEA. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte des Ablaufplans näher erläutert.

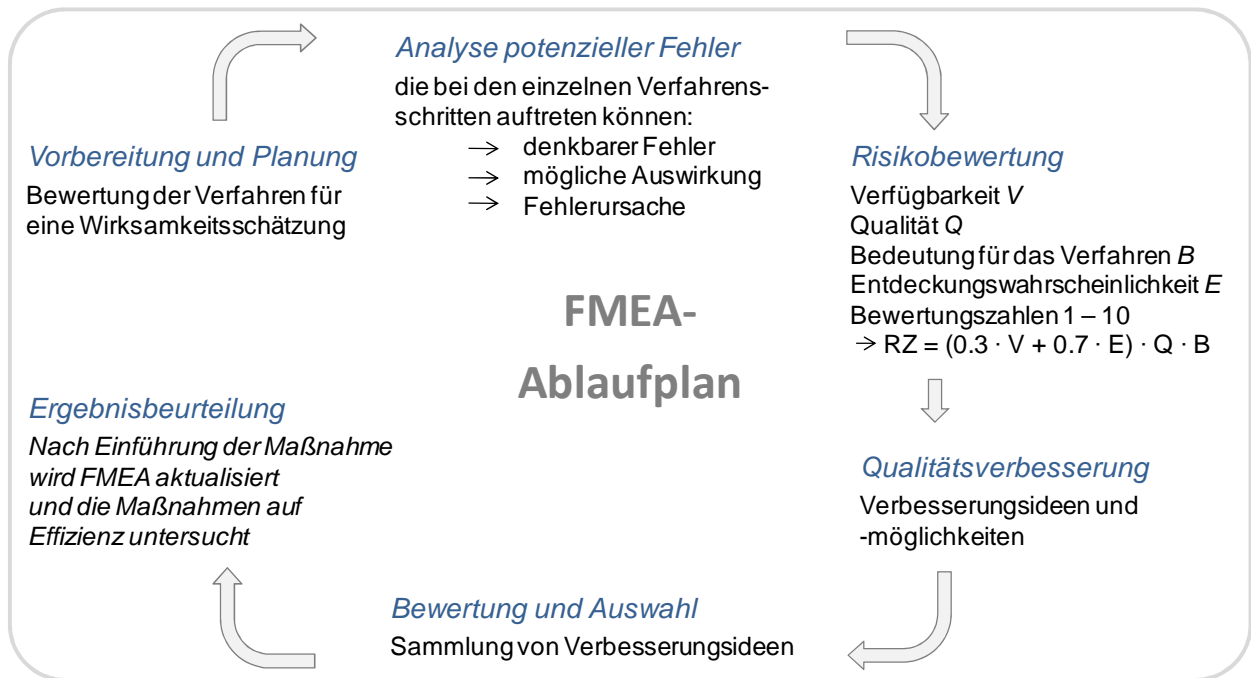


Abbildung 6-1: FMEA-Ablaufplan

#### 6.2.1 Vorbereitung und Planung

In diesem ersten Schritt werden die Ziele der FMEA eindeutig definiert und bezüglich der Art abgegrenzt. Für einen effizienten Ablauf werden die wesentlichen Meilensteine festgelegt, sowie der Einbezug von Fachleuten bedacht.

In der hier durchgeführten FMEA ist eine Bewertung der Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung das primäre Ziel.

#### 6.2.2 Analyse potenzieller Fehler

Fehler können aus deren Funktionsweise abgeleitet werden. Hierfür ist eine umfassende Beschreibung der Eigenschaften der Komponenten erforderlich. Für den möglichen Fehler werden Auswirkungen und deren Ursachen beschrieben. Der Verfahrensschritt an dem der Fehler zum tragen kommt wird beschrieben. Diese Analyse von potenziellen Fehlern unterstützt in der Maßnahmenfindung zur Fehlervermeidung. Zur einheitlichen und übersichtlichen Durchführung der FMEA wird ein Excel-Arbeitsblatt verwendet.

Im Arbeitsblatt zur FMEA „Wirksamkeit VBA\_FE 03 0425\_2007\_IGB\_FMEA.xls“ wird zunächst das Fehlermerkmal beschrieben. Die Risiken der möglichen Fehler werden klassifiziert. Da es für das ex-ante Verfahren unterschiedliche Möglichkeiten der Datenquellen gibt, werden diese entsprechend zu jedem Fehlermerkmal beschrieben und deren Einfluss auf das Verfahren bewertet. Desweiteren ist der Verfahrensschritt, auf den die Eingangsgröße Einfluss nimmt, vermerkt.

### 6.2.3 Risikobewertung

In der ursprünglichen FMEA wird das Risiko eines Fehlers an Hand der folgenden Klassifizierungskategorien gemessen:

- Schwere der Auswirkung (S)
- Auftretenswahrscheinlichkeit (A)
- Entdeckungswahrscheinlichkeit (E).

Dazu wird eine Bewertungsskala von 1 – 10 verwendet. Die Risikoprioritätszahl (RZ) ergibt sich aus dem Produkt der drei Bewertungsgruppen.

$$RZ = S \cdot A \cdot E$$

Formel 6-1: Berechnung der RZ (ursprüngliche FMEA)

Ist die  $RZ > 125$  oder eine der Einzelbewertungen  $S, A, E > 8$  so sollte unbedingt eine Verbesserungsmaßnahme eingeleitet werden. Durch die RZ wird eine Rangfolge der Fehler bestimmt und zeigt die Bedeutung eines Fehlers.

Die Risikobewertung wurde für die Analyse der entwickelten Verfahren zur Bewertung der ex-ante Wirkung von VBA angepasst. Die ursprüngliche FMEA wird primär für die Fehlerbeurteilung von Produktionsprozessen verwendet. Da bei der hier durchgeführten Analyse einige Kategorien zur Beschreibung des Risikos eines Fehlers keine direkte Anwendung finden, wurden diese leicht verändert und durch andere Begriffe ersetzt. Die Risikobewertung erfolgt anhand folgender Klassifizierungskategorien:

- Verfügbarkeit (V)
- Qualität (Q)
- Bedeutung (B)
- Entdeckungswahrscheinlichkeit (E)

Dabei wird in der Kategorie Verfügbarkeit bestimmt, wie aufwendig es ist, die für das Verfahren erforderlichen Daten zu beschaffen und aufzu-

bereiten. Die Qualität beschreibt, welche Beschaffenheit die Daten für das Verfahren aufweisen und wie zuverlässig die Inhalte der erforderlichen Daten sind. Welche Auswirkung ein Fehler auf das Verfahren hat, wird in der Kategorie Bedeutung festgehalten. Die letzte Kategorie beschreibt die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers. Diese stellt dar, wie schwierig es ist, den Fehler zu finden und wie hoch der Aufwand hierfür ist.

Wie auch in der ursprünglichen FMEA werden für jede Kategorie die Kennzahlen von 1-10 verwendet. In Abbildung 6-2 sind die jeweiligen Definitionen zu den Kategorien beschrieben.

Die Berechnung der Risikoprioritätszahl weicht von der ursprünglichen Berechnung ab. Die hier verwendete RZ besteht aus 4 Komponenten. Diese 4 Kategorien sind für eine genaue Beschreibung des Fehlers in diesem Fall erforderlich, jedoch werden die einzelnen Komponenten nicht mit gleicher Wichtigkeit eingestuft. Die Kategorien Verfügbarkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeiten werden zwar als wichtige Komponenten zur Klassifizierung des Fehlers beurteilt, sollen aber bei der Berechnung der RZ nicht so dominant bewertet werden, wie die anderen beiden Komponenten Qualität und Bedeutung, die einen wesentlich größeren Einfluss auf das Verfahren haben. Die RZ wird wie folgt berechnet:

$$RZ = (0,3 \cdot V + 0,7 \cdot E) \cdot Q \cdot B$$

Formel 6-2: Berechnung der RZ

Nun gilt auch hier zur Beurteilung der RZ, dass Werte der RZ größer als 125 nochmals zu prüfen sind und ggf. Verbesserungsmaßnahmen durchzuführen sind. Zudem sollten die Einzelbewertungen von V, E, und Q den Wert 8 nicht überschreiten, ohne dass Verbesserungsmaßnahmen getroffen werden. Übersteigt die Klassifizierungskategorie bei B, die Kennzahl 8, so ist diese Eingangsgröße besonders wichtig für das Verfahren. Eine Verbesserungsmaßnahme ist in diesem Fall nicht notwendig, aber Fehler, die bei dieser Eingangsgröße gemacht werden, haben entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis des Verfahrens.

Kennzahl	Klassifizierungskategorie für FMEA			
	Verfügbarkeit	Qualität	Bedeutung	Entdeckungswahrscheinlichkeit
1	ohne Probleme verfügbar	unwahrscheinlich, dass Qualität eingeschränkt ist	unwahrscheinlich, dass Fehler eine Auswirkung auf das Ergebnis hat	sehr hoch, funktioneller Fehler
2 3	geringer Aufwand für die Bereitstellung	sehr gering, Qualitätssicherung ist statistisch belegbar	Fehler ist unbedeutend	hoch, augenscheinlicher Fehler
4 5 6	mittlerer Aufwand für die Bereitstellung	gelegentliche Qualitätseinbußen, die jedoch nicht im wesentlichen Umfang auftreten	mittelschwerer Fehler	mäßig, einfaches Fehlermerkmal
7 8	hoher Aufwand für die Bereitstellung	mäßige Auswirkung, Prozess ist noch beherrschbar	schwerer Fehler	gering, leicht zu erkennendes Fehlermerkmal
9 10	nicht verfügbar	nahezu sicher, dass Qualität nicht eingehalten werden kann	äußerst schwerwiegender Fehler, der das Ergebnis verfälscht	unwahrscheinlich, dass Fehler erkennbar ist, verdeckter Fehler

Abbildung 6-2: Definition der Kennzahlen je Klassifizierungskategorie

Es gibt auch Schwächen bei der Risikobeurteilung, besonders im Hinblick auf die RZ. Einige der Schwächen sind nachfolgend notiert (Zitat aus [FMEA, 2006]):

- *Lücken im Bereich: 88% des Bereichs sind leer, nur 125 aus 1000 Zahlen werden erzeugt*
- *Doppelt auftretende RZ: für einige Kombinationen, bei denen unterschiedliche Faktoren zur selben RZ führen*
- *Empfindlichkeit gegenüber kleinen Änderungen: eine kleine Änderung in einem Faktor hat eine viel größere Auswirkung, wenn die anderen Faktoren größer sind, als wenn sie klein sind*
- *Ungeeignete Skala für RZ: Unterschiede in RZ können vernachlässigbar erscheinen, obwohl sie tatsächlich signifikant sind. Die RZ-Werte sollten nicht direkt miteinander verglichen werden.*
- *Irreführende Schlussfolgerungen aus RZ-Vergleich, da die Skalen Ordnungsskalen und nicht Verhältnisskalen sind.*

#### 6.2.4 Qualitätsverbesserung

Nach den Schritten der Analyse und Bewertung wird in dem Schritt Qualitätsverbesserung nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht. Der Prozess des Findens von Verbesserungsmaßnahmen sollte durch ein interdisziplinäres Team durchge-

führt werden. In diesem Schritt wird besonders dem Grundgedanken der FMEA Rechnung getragen, wonach Fehlerprävention weitaus besser als Fehlerbeseitigung ist. Beispielsweise ist das Beheben von Fehlern kostenintensiver und kann bedeutende Sicherheitslücken darstellen.

Die Qualitätsverbesserungsmaßnahmen sind in dieser FMEA bereits durch die Auflistung verschiedener Daten- und Erfassungsquellen mit unterschiedlich ausgeprägtem Einfluss auf das Verfahren beschrieben.

#### 6.2.5 Bewertung und Auswahl

Aus der Sammlung von Verbesserungsideen wird die geeignetste ausgewählt und als realisierbare Maßnahme ausgewählt.

Die Verbesserung des Verfahrens erfolgt, indem die erforderlichen Daten vorab qualitätsgesichert werden. Des weiteren werden für einige Eingangsgrößen unterschiedliche Datenquellen angegeben und mit unterschiedlichen Kennzahlen bewertet. Dies gibt Aufschluss über die verschiedenen Auswirkungen auf das Ergebnis der Vorabschätzung, wenn unterschiedliche Datenquellen konsolidiert werden.

#### 6.2.6 Ergebnisbeurteilung

Eine Aktualisierung der FMEA findet nach Einführung der Maßnahme durch die jeweiligen Verantwortlichen statt. Die Maßnahmen werden auf ihre Effizienz hin untersucht und es erfolgt eine erneute Bewertung der RZ. Möglich ist auch ein Ver-



gleich der RZ der unterschiedlichen Verbesserungsideen, die zu einem Fehler entwickelt worden sind. Über die RZ wird die Wirkung der Verbesserungsmaßnahme bestimmt. Sollte weiterhin die RZ zu hoch sein, so sind weitere Maßnahmen einzuleiten.

Dieser letzte Schritt der FMEA kann in der vorliegenden FMEA noch nicht durchgeführt werden, da die entwickelten Verfahren noch nicht veröffentlicht und somit auch noch keine Prüfung durch Anwender erfolgt ist. Die Ergebnisbeurteilung kann erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

### 6.3 Anwendung FMEA

In der Excel-Datei *Wirksamkeit VBA\_FE\_03\_0425\_2007\_IGB\_FMEA.xls* befinden sich die Arbeitsblätter, die für jedes VBA-Verfahren angefertigt wurden. Die Arbeitsblätter sind folgendermaßen aufgebaut:

- Beschreibung des Eingangswertes
- Angabe verschiedener Quellen, die für den Eingangswert möglich und sinnvoll sind
- Angabe des Verfahrensschritts, für den die Eingangswerte benötigt werden
- Kommentare zu den Kennzahlen zur Risikoklassifizierung
- Klassifizierung der Kategorien mit Kennzahlen von 1-10 (automatische Markierung von Kennzahlen > 8)
- Risikobeurteilung durch die automatische Berechnung der RZ (automatische Markierung von RZ > 125)
- Kommentare zur Risikobeurteilung

Kommentare die direkt bei den Kennzahlen eingetragen sind spiegeln den Diskussionsverlauf mit dem Betreuungsausschuss wider.

Besonderheiten bei den Kennzahlen oder bei der Risikobeurteilung sind nachfolgend für jedes Verfahren kurz beschrieben. Die Bewertung der Qualität bezieht sich bei dieser FMEA immer auf das jeweilige Testfeld. Eine allgemeingültige Aussage wird nicht getroffen, da dieser Wert Q abhängig vom Testfeld sehr stark schwanken kann.

#### 6.3.1 NBA

##### 6.3.1.1 Verkehrssicherheit

Den größten Einfluss und Bedeutung für das Verfahren haben die Eingangswerte ‚Länge des BAB-Abschnitts‘ und ‚Anzahl der Fahrstreifen‘. Ungenaue Angaben führen zu gravierenden Abweichungen bei der Berechnung der

Unfallkosten. Allerdings sind bei den genannten Eingangswerten Verfügbarkeit, Qualität und Entdeckungswahrscheinlichkeit so einzustufen, dass sich insgesamt eher eine geringe RZ ergibt.

Bei dem Eingangswert ‚Mittlere Dauer des Störungsmusters‘ führt die Kombination aus häufiger Auftretenswahrscheinlichkeit von Fehlern (Qualität), starkem Einfluss auf das Verfahren und geringer Entdeckungswahrscheinlichkeit zu einer hohen RZ von 270, die somit über dem Grenzwert von 125 liegt. Der Anwender sollte besonders bei der Ermittlung dieses Eingangswertes auf die erforderliche Zuverlässigkeit hingewiesen werden. Die Verwendung von pauschalen Werten ist für diesen Eingangswert nicht sinnvoll.

Auch bei der zu bestimmenden ‚Befolgungsrate‘ ist die RZ deutlich über dem Grenzwert einzuordnen. Hier wird v.a. die Qualität des Eingangswertes als problematisch eingestuft (Q=9), da die im Hinweispapier [FGSV, 2007b, Kap. 4.3.2] vorgegebenen Befolgungsraten sehr pauschal und tendenziell etwas hoch bewertet werden.

Alle weiteren Eingangswerte für das Verfahren werden in der FMEA als unproblematisch identifiziert, insbesondere da wie im Anhang zu sehen, für die einzelnen Eingangswerte oftmals mehrere Quellen möglich sind, auf die der Anwender zugreifen kann.

##### 6.3.1.2 Verkehrsfluss

Die FMEA für das Verfahren zur Ermittlung der Wirkungen von NBA auf den Verkehrsfluss belegt die Problematik bestimmter Eingangsgrößen für die Anwendung des Verfahrens. Bei den Eingangsgrößen

- OD-Matrix,
- Störungsdaten (für Störfallszenario),
- Verkehrsstärke  $q$  im 1h Intervall für jeden Streckenabschnitt (zur Kalibrierung des Modells) und
- Befolgungsraten bei NBA (siehe 6.3.1.1)

ergibt sich aus der Kombination der FMEA-Klassifizierungskategorien jeweils eine RZ, die über dem Grenzwert liegt. Um die Schwierigkeiten und die Problematik bei der Erstellung und Anwendung eines Verkehrsmodells für die zu untersuchende NBA zu vermeiden, wird wie im Verfahren zur Ermittlung der Wirkungen auf die Verkehrssicherheit dazu geraten, ersatzweise abschnittsfeine DTV-Werte und durch analytische Methoden ermittelte Reisezeiten für das Verfahren zu verwenden.



### 6.3.2 SBA

Es wurde in der FMEA bei jedem der SBA-Verfahren zwischen Eingangswerten und Annahmen unterschieden.

#### 6.3.2.1 Verkehrssicherheit

Auffällig bei der FMEA sind die Eingangswerte, auf deren Grundlage der Sicherheitsgewinn bei Nebel ermittelt wird. Die FMEA-Kennzahlen „Anzahl Nebelstunden“ und „Anzahl Unfälle aufgrund von Nebel“ überschreiten den Schwellenwert von 125 deutlich. Sie sind kritische Eingangswerte für das Verfahren, da deren Erhebung sehr aufwendig und fehleranfällig ist. Dies deckt sich auch mit den Erfahrungen die während der Anwendung des Verfahrens gemacht wurden. Für die Erhebung der Unfälle könnte jedoch auch nur der Weg über die Unfalldatenbank gegangen werden. Somit würde die Erhebung (V) leichter werden und die Qualität (Q) hingegen schlechter.

Des Weiteren sind die pauschalen Werte die zur Reduzierung des Sicherheitsgewinns vorgeschlagen werden als kritisch anzusehen.

Die Werte sind aus Untersuchungen an früheren SBA gewonnen worden. Es ist nicht sicher wie gut diese Werte tatsächliche für aktuelle Situationen und spezielle Untersuchungstrecken geeignet sind. Außerdem haben sie großen Einfluss auf das Gesamtergebnis.

Dem Anwender muss bewusst sein, dass die Ergebnisse, die mit pauschalen Werten berechnet werden auch nur grobe Richtwerte sein können.

#### 6.3.2.2 Verkehrsfluss

##### Teil 1: Zeitkosten – Verkehrsbedingte Stautunden

Die FMEA zeigt für das Verfahren zur Abschätzung der Wirksamkeit von verkehrsbedingten Stautunden folgende Schwachpunkte:

Sowohl die Identifizierung eines verkehrsbedingten Staus als auch die Staudauer und mittlere Staulänge eines solchen Staus sind Werte, die eine große Bedeutung für das Endergebnis haben. Die Identifizierung der Stauereignisse kann allerdings fehleranfällig sein und die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers ist gering.

Die Berechnung der Staulänge und Staudauer ist abhängig von der Kapazitätsgrenze der untersuchten Straßen (nach HBS [FGSV, 2001] oder Datenanalyse). Da bereits Brilon [2008] nachgewiesen hat, dass die Kapazität einer Straße kein fester Wert, sondern ein stochastischer Wert ist, ist hiermit bereits eine mögliche Fehlerquelle aufgezeigt.

##### Teil 2: Zeitkosten – Unfallbedingte Stautunden

Die Identifizierung von Staus aufgrund von Unfällen hat für das Verfahren eine große Bedeutung (B=9). Es können Fehler auftreten, die nur schwer zu entdecken sind. Deshalb wird für die Entdeckungswahrscheinlichkeit E=10 gewählt.

Außerdem sind die im Hinweispapier [FGSV, 2007b] vorgeschlagenen pauschalen Werte zur Berechnung der Kapazitätsverringerung bei einem Unfall von großer Bedeutung für das Verfahren (B=7). Es können mit diesen Pauschalwerten große Differenzen zu der „Realität“ auftreten. In Kapitel 5.4.3.2 wurde dies an einem Beispiel bereits verdeutlicht.

Der pauschale Wert für die Reduktion der Zeitkosten ist auch, wie in den vorherigen Verfahren bereits beschrieben, mit einem erhöhten FMEA Wert gekennzeichnet. Dies ist auf den großen Einfluss, die geringe Fehlerentdeckungswahrscheinlichkeit und die Ungenauigkeiten die dieser Wert beinhaltet zurückzuführen.

### 6.3.3 KBA

#### 6.3.3.1 Verkehrssicherheit

Der wichtigste Eingangswert für die Wirksamkeitschätzung einer KBA bezüglich Verkehrssicherheit ist die Unfalldatenbank. Dies spiegelt sich auch in der RZ von 352 wider. Die Verfügbarkeit wurde dabei mit einer Risikozahl V=6 beschrieben. Die Verkehrsdaten können unterschiedlich erhalten werden. Beispielsweise ist es möglich, dass nur Unfallberichte in Papierform oder eine Unfallkarte existiert und dabei der Aufwand für eine digitale Aufbereitung als höher eingeschätzt wird, als wenn bereits Excel-Tabellen zur Verfügung stehen. Die Verfügbarkeit ist prinzipiell gut, nur der Aufbereitungsaufwand ist sehr unterschiedlich. Die Qualität der Daten ist mit einem mittleren Wert von Q=5 angesetzt, da es Ungenauigkeiten beim Ausfüllen des Unfallbogens gibt und somit diese auch in der Unfalldatenbank wiederzufinden sind. Da diese Eingangsgröße die bedeutendste für das Verfahren ist, wird die Kategorie der Bedeutung mit der Kennzahl 8 bewertet. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers wird bei der Unfalldatenbank als sehr schwierig angesehen und somit mit der Kennzahl 10 beurteilt. Tritt ein Fehler bei der Unfallaufnahme auf, so ist es sehr aufwendig diesen zu entdecken und zu beseitigen.

Die anderen Eingangswerte haben eine RZ < 125, da sie im Einzelnen keine so große Auswirkung auf das Verfahren haben. Anmerkungen und Kommentare sind deshalb dem Arbeitsblatt zur FMEA zu entnehmen.

#### 6.3.3.2 Verkehrsfluss

##### Variable Fahrstreifenzuteilung

In der FMEA zur Beurteilung des Verfahrens „Verkehrsfluss – Variable Fahrstreifenzuteilung“ wird zwischen Eingangswerten und Annahmen unterschieden. Bei den Eingangswerten ist in diesem Verfahren die Ermittlung der Verkehrsstärke als besonders wichtig eingestuft. Die RZ ist größer als 125, sie beträgt 260. Diese RZ setzt sich aus den Werten  $V=3$ ,  $Q=5$ ,  $B=8$  und  $E=8$  zusammen. Zu beachten ist bei der Vergabe der Kennzahlen, dass sich diese auf die Beschaffenheit der gemessenen Verkehrsdaten nach TLS [BASt, 2002] handelt. Liegen bei einer anderen Untersuchungsstrecke keine Detektorwerte vor, so kann die Kennzahl für die Verfügbarkeit und Qualität höher ausfallen. Diese Werte beziehen sich auf die hier vorliegenden Daten des Testfeldes.

Die für das Verfahren pauschal angenommenen Reisegeschwindigkeiten im Stau und im freien Verkehr sind bereits vorgegeben und können nicht verändert werden. Die Kennzahlen für  $V$  und  $Q$  sind mit 1 bewertet. Es sind keine weiteren Schritte erforderlich um diese Werte zu erhalten. Der Einfluss auf das Verfahren ist in Form eines mittelschweren Fehlers eingestuft ( $B=6$ ), der als augenscheinlicher Fehler gewertet werden kann ( $E=2$ ). Die RZ ergibt sich somit zu  $RZ=10$ .

## ZFR

Die Risikobeurteilung für die beiden Kennzahlen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit werden mit  $RZ=182$  bewertet. Dies liegt daran, dass diese Werte eine besonders hohe Bedeutung für das Verfahren haben. Die Verfügbarkeit wird mit 3 eingestuft. D.h. es besteht ein geringer Aufwand für die Bereitstellung der Daten, da die nach TLS [BASt, 2002] archivierten Daten nicht weiter aufbereitet werden müssen, sondern direkt in das Verfahren übernommen werden können. Die Qualität der in diesem Testfeld erhaltenen Daten wird mit einer Kennzahl 4 versehen. Es ist mit gelegentlichen Qualitätseinbußen zu rechnen, die allerdings in einem beherrschbaren Umfang auftreten. Die Bedeutung dieser Eingangswerte ist als hoch eingestuft ( $B=7$ ): Treten bei diesen Werten Fehler auf, so ist mit erheblichen Einbußen bei der Beurteilung der Ergebnisse zu rechnen. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Fehlers wird mit  $E=7$  klassifiziert. Liegen auf dem betrachteten Streckenabschnitt mehrere Messstellen, so ist eine Plausibilisierung der Fehler möglich.

Ein weiterer Eingangswert, der für die FMEA untersucht wird und für das Ergebnis des Verfahrens von entscheidender Bedeutung ist, ist die gemessene Länge der Auffahrtsrampe. Die Verfügbarkeit der Rampenlänge ist mit einer geringen Kennzahl ( $V=2$ ) berücksichtigt, denn die Länge der Auffahrtsrampe kann leicht aus Karten/Lageplänen herausgelesen werden. Die Qualität wird als sehr gut eingeschätzt, somit wird eine Kennzahl von 1 verwendet. Die Bedeutung für das Verfahren wird mit einer Kennzahl  $B=9$  beschrieben. Ist die Rampen-

länge falsch bestimmt, so werden evtl. Reisezeiten verworfen, da in diesem Zeitintervall die berechnete Rückstaulänge die falsch gemessene Rampenlänge übersteigt. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ( $E=5$ ) wird als mittel bewertet. Durch Überprüfen des Kartenmaterials kann der Fehler verhältnismäßig leicht behoben werden. Die RZ ergibt sich zu 37 und ist somit in der Gesamtheit nicht als kritisch zu bewerten.

## 7 Ergänzungsvorschläge für das Merkblatt

Das Ziel der im Hinweispapier [FGSV, 2007b] entwickelten Verfahren ist ein **einfaches** Berechnungsverfahren für die Wirksamkeits-schätzung von VBA zu geben.

Es besteht der Zielkonflikt, je genereller die Verfahren und die Eingangswerte sind, desto ungenauer und unzuverlässiger wird auch das Endergebnis ausfallen. Im Gegenzug kann gesagt werden, je genauer und detaillierter die Verfahren und die Eingangswerte sind, desto genauer und zuverlässiger wird auch das Endergebnis sein.

Es liegt somit zum einen an dem Anwender, wie viel Zeit und Aufwand er in die Abschätzung der Wirksamkeit investieren kann und zum anderen auch an den zur Verfügung stehenden Eingangsdaten. Dies ist entscheidend für die Zuverlässigkeit des Endergebnisses.

Deshalb wird in den Ergänzungsvorschlägen teilweise ein Stufenmodell mit verschiedenen Varianten vorgeschlagen. Der Anwender kann somit, je nachdem welche Eingangswerte zur Verfügung stehen und wie genau das Endergebnis ausfallen soll, entscheiden, welche Variante des Verfahrens er wählt.

Eine Vergleichbarkeit des Endergebnisses ist somit allerdings nicht gewährleistet. Dies ist bei beiden vorgeschlagenen Verfahren jedoch auch nicht möglich, da die Güte und Verfügbarkeit der Eingangsdaten von Anwendungsfall zu Anwendungsfall stark variieren kann.

### 7.1.1 NBA

#### 7.1.1.1 Verkehrssicherheit

Einzelne Netzbeeinflussungsanlagen nutzen bei besonderen Verkehrssituationen auch die Möglichkeit, Verkehr über Abschnitte des Sekundärnetzes zu Nahzielen umzuleiten. Das in Kapitel 4.2 beschriebene Verfahren kann derzeit nur für Ziele angewendet werden, die komplett über Netzmaschen mit 2- oder 3-streifigen BAB-Richtungsfahrbahnen angefahren werden. Um auch Nahziele, die durch Umfahrungsmöglichkeiten auf dem Sekundärnetz in NBA-Strategien integriert sind, in das Verfahren aufnehmen zu können, müsste auch für Bundesstraßen ein funktionaler Zu-

sammenhang zwischen der UKR und der stündlichen Verkehrsstärke ähnlich zu [BASt, 2003] ermittelt werden.

Das Prinzip zur Bestimmung der Befolgungsrate bei NBA [FGSV, 2007b, Kapitel 4.3.2] sollte durch neue Forschungsergebnisse (z.B. [BASt, 2008]) verfeinert und angepasst werden, um eine wichtige Datengrundlage für die Ermittlung von Wirkungen von NBA zu verbessern.

### 7.1.1.2 Verkehrsfluss

Für eine Vorabschätzung der Wirkungen einer NBA auf den Verkehrsfluss ist das in [FGSV, 2007b] beschriebene Verfahren zur Modellierung der Wirkungen (z.B. aus dem BVWP als 24h-Verkehrsmodell) zu aufwendig. Es wird vorgeschlagen das bestehende Verfahren anzupassen bzw. ein neues Verfahren zu entwerfen, das durch einfach zu ermittelnde Datengrundlagen eine einfache überschlägige Berechnung der jährlichen Zeitersparnis und der Betriebskosten durch NBA ermöglicht.

Durch eine genaue Analyse der Verkehrsszenarien, für die NBA-Schaltungen vorgesehen sind, können Häufigkeit, Dauer und räumliche Ausdehnung der Störung bestimmt werden. Ebenso lassen sich Aussagen über die vorliegenden Belastungen während des Störungsszenarios treffen. Mit diesen Informationen kann anhand des DTV die verkehrsszenariospezifische Stundenbelastung auf den einzelnen Abschnitten der Netzmasche abgeleitet werden, wodurch wiederum durch analytische Verfahren die Reisezeit auf den Routen berechnet werden kann. In weiteren Verfahrensschritten, wie in [FGSV, 2007b] beschrieben, lassen sich anschließend die jährliche Zeitersparnis und die Betriebskosten durch NBA ermitteln.

## 7.1.2 SBA

### 7.1.2.1 Verkehrssicherheit

Bei dem Verfahren der Verkehrssicherheit können die folgenden Anwendungsschritte bzw. -varianten durchgeführt werden.

- Berechnung des Sicherheitsgewinns ohne das Einbeziehen von Nebeldaten und prognostizierten Verkehrsstärken. Diese beiden Punkte können in der Erhebung sehr aufwendig sein.
- Einbeziehen von Prognose- bzw. Nebeldaten.

### Formale Verbesserungsvorschläge

- Es sollten Vorschläge zur Selektion von Nebelereignissen bzw. Unfällen aufgrund von Nebel gegeben werden. Aufgrund der Fehleranfälligkeit der Sichtweiten-Messwerte ist auf die Methoden zur Plausibilitätsprüfung des FGSV Arbeitskreises 3.2.1 „Umfelddatener-

fassung des FGSV in VBA“ [FGSV, 2008] zu verweisen.

- Es sollte eine Definition von einem Nebelereignis gegeben werden (z.B. nach MARZ Kapitel 2.3.2.2.2 Sichtweite [BASt, 1999]).
- Es sollten Hinweise gegeben werden, wie man die Wirksamkeitsschätzung durchführen kann, wenn noch keine Verkehrsdatendetektion vorliegt. (z.B. Verkehrszählung über einen hinreichend langen Zeitraum oder Daten der Bundesverkehrszählung).
- Ggf. sollte die Formel zur Berechnung der UR ohne Nebel ergänzt werden.
- Dem Anwender soll deutlich gemacht werden, warum nur die Verkehrsleistung und nicht auch die Unfallraten prognostiziert werden sollen.
- Zur Vereinheitlichung sollen nur Werte des Untersuchungszeitraums verwendet werden und nicht für die Fahrleistung prognostizierte Werte angenommen werden. Auch in [Siegener, 2000] werden lediglich die Werte des Analysezeitraums verwertet.
- Falls dennoch prognostizierte Werte verwendet werden sollen, so sollte in dem Hinweispapier [FGSV, 2007b] ein Verweis auf die regelmäßig veröffentlichten prognostizierten Verkehrswerte gegeben werden.
- Für die Prognose sollten ein oder mehrere Verfahren zur Generierung von Prognosewerten aufgezeigt werden (z.B. in Form von Quellenverweisen).
- In der Beispielrechnung sollte beim Sicherheitsgewinn die Einheit [U] ergänzt werden.

### 7.1.2.2 Verkehrsfluss

#### Teil 1: Zeitkosten – verkehrsbedingte Stautunden

Bei dem Verfahren zur Abschätzung des Nutzens einer SBA durch Reduzierung der verkehrsbedingten Stautunden, können die folgenden Anwendungsschritte bzw. -varianten durchgeführt werden.

- Zur Erhebung der gesamten Staudauer und Staulänge werden die Daten der Landesmeldestelle verwendet.
- Eine genauere Erhebung der Staudauer und Staulänge kann durchgeführt werden, falls bereits Verkehrsdatendetektion im Untersuchungsabschnitt vorliegt. Mittels eines Verkehrslagerekonstruktionsmodells könnten die Eingangswerte Staudauer, mittlere Staulänge und mittlere Staugeschwindigkeit präziser erhoben werden.

- Für den Arbeitsschritt 2. wäre eine Definition von „Störung“ erforderlich (ein Vorschlag findet sich im beigefügten Glossar).
- Verbesserung der Berechnung der durch die Störung betroffenen Fahrzeuge (z. B. nach der Kontinuitätsgleichung oder nach Warteschlangentheorie [Keller, 2003]).

### Formale Verbesserungsvorschläge

- Der Verweis auf die genauen Tabellen im HBS [BAST, 1999] sollte gegeben werden (z.B. in Anlehnung an die Formulierung im Teil 2: „Tabellen 3-2 bis 3-4 HBS“).
- Bei Arbeitsschritt 7. müsste die Einheit für „jährliche Gesamtreisezeit“ in [Kfz·h/a] geändert werden.

### Teil 2: Zeitkosten – unfallbedingte Stautunden

Bei dem Verfahren zur Abschätzung des Nutzens einer SBA durch Reduzierung der unfallbedingten Stautunden, können die folgenden Anwendungsschritte bzw. -varianten durchgeführt werden.

- Die Daten Staudauer, Staulänge und Anzahl der betroffenen Fahrzeuge werden aus den Daten der Landesmeldestelle erhoben. Das Verfahren aus Teil 1 könnte somit genutzt werden, um die Gesamtreisezeit zu ermitteln.
- Der zweite Ergänzungsvorschlag vom vorhergehenden Teil 1 könnte ebenfalls durchgeführt werden, um genauere Eingangswerte zu bekommen.

### Formale Verbesserungsvorschläge

Das bestehende Verfahren beinhaltet viele Annahmen und unklare Formulierungen. Viele davon könnten durch die vorher vorgestellte Vorgehensweise umgangen werden.

Falls das Verfahren dennoch, wie im Hinweispapier [FGSV, 2007b] vorgeschlagen, angewendet werden soll, müssten die folgenden Punkte konkretisiert werden:

- Dem Anwender sollten Hinweise zur Erhebung der Eingangsgröße „*dem Unfallstau zufließende Verkehrsstärke*“ gegeben werden (z.B. Tagesganglinie, Zählwerte eines vorgelegten Detektors - falls vorhanden).
- Es müsste die durchschnittliche und nicht die „Anzahl der **am Ende** der Unfallräumung gestauten Kfz“ ermittelt werden.
- Die Funktion zur Reduzierung der Staulänge wurde wegen der tendenziellen Überschätzung aufgrund des im vorherigen Arbeitsschritt aufgeführten Grundes eingeführt. Falls Punkt zwei verändert werden würde, müsste auch die Reduktionsfunktion angepasst werden.

- Der Arbeitsschritt 14c) müsste rein inhaltlich und auch formal an der Stelle 10c) stehen.
- Bei Arbeitsschritt 11. müsste die Einheit für „Gesamtreisezeit“ in [Kfz·h/a] geändert werden.
- Der Nutzen aus einem verbesserten Verkehrsfluss wird in Zeiteinheiten [h] bewertet. Der Verkehrssicherheitsnutzen wird hingegen in einer monetären Einheit bewertet [€]. Es wäre ggf. sinnvoll den Verkehrssicherheitsnutzen ebenfalls in eine monetäre Einheit umzuwandeln. Dies wäre z.B. möglich über die Zeitkostensätze der EWS [FGSV, 1997].

### 7.1.3 KBA

#### 7.1.3.1 Verkehrssicherheit

Das neu entwickelte Verfahren zur Schätzung der Verkehrssicherheit bei KBA wurde in 2 Testfeldern angewendet und als anwendbar eingestuft. Eine Übernahme in das Hinweispapier ist somit möglich.

#### 7.1.3.2 Verkehrsfluss

##### Variable Fahrstreifenuteilung

Die Anmerkungen zum Verfahren, die bereits in Kapitel 5.6.3 beschrieben wurden, sollten berücksichtigt werden. Die Definition der Begriffe „Verkehrsbelastungsfälle“ und „Beeinflussungsfälle“ sollte im Hinweispapier [FGSV, 2007b] klarer beschrieben werden, sowie deren weiterer Bedarf bei der Anwendung des Verfahrens. Es wird vorgeschlagen die Begriffe folgendermaßen zu definieren:

- Verkehrsbelastungsfall: Bei diesen Verkehrsstärken, auf der HFB und des dazu kommenden Verkehrsstroms, ist eine Schaltung der KBA möglich.
- Beeinflussungsfall: Ab einer Überschreitung der detektierten Verkehrsstärke auf der HFB oder der Rampe, wird die KBA aktiviert. Es kommt zu einer Beeinflussung des Verkehrs.

In der Umsetzung der Verfahren in den Excel-Dateien sind die Werte für relevante Verkehrsbelastungsfälle und Beeinflussungsfälle gleich gesetzt.

Es werden Daten von 3 Monaten eingefordert, wobei nur ein Tag anschließend ausgewertet wird. Dieser Umstand sollte ggf. verändert werden und eine Datenauswertung über alle verfügbaren Daten erfolgen. Eine Hochrechnung auf ein ganzes Jahr kann dann evtl. entfallen oder leichter die Häufigkeit der Aktivierung einer KBA bestimmt werden. Der benötigte Zeitbedarf für eine 3 monatige Auswertung des Nutzens einer KBA ist durch die Verwendung der Excel-Datei gering, da die Berechnungen mit einem Makro automatisiert ab-

laufen. Angemerkt sei dabei, dass für jeden Monat die gemessene Kapazität variiert und sich deshalb für jeden Monat die Kapazität im Beeinflussungsfall ändert (vgl. Arbeitsschritt 6 des Verfahrens [FGSV, 2007b]).

In der Verfahrensbeschreibung fehlt eine Option, falls keine Verkehrsdaten auf der HFB und der Rampe detektiert werden. Möglichkeiten die Verkehrsstärke auf der HFB und/oder der Rampe zu ermitteln werden nicht erläutert. Vorgeschlagen wird deshalb, ähnlich wie bei der Vereinfachung der Verfahrensschritte zur ZFR (Kapitel 4.4.4) kleinere Untersuchungszeiträume als ausreichend anzusehen, wenn keine Detektion an dem Knotenpunkt existiert.

## 8 Fazit

In diesem Forschungsprojekt wurden neue Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung entwickelt und bereits bestehende Verfahren auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Die Verfahrensanwendung wurde für alle Verfahren zur ex-ante Wirksamkeitsschätzung mit Hilfe von Excel-Dateien automatisiert. Jedes Verfahren wurde mit Daten aus geeigneten Testfeldern überprüft. Mittels einer FMEA wurden alle Verfahren auf die Sensitivität unterschiedlicher Eingangsgrößen hin analysiert. Verbesserungsvorschläge und Anregungen zur Erweiterung des FGSV-Hinweispapieres [FGSV, 2007b] werden für jede VBA-Kategorie gegeben.

Bei einigen Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung werden verschiedene Varianten zur Abschätzung des Nutzens vorgeschlagen, die sich hinsichtlich des Detaillierungsgrades unterscheiden. Ein Ziel des Hinweispapieres [FGSV, 2007b] ist es, dem Anwender einfache und in der Praxis leicht anwendbare Verfahren zur Verfügung zu stellen. Oftmals sind die dafür zu treffenden Annahmen jedoch sehr grob und ungenau. Deshalb wird in den Verfahrensvarianten durch weitere optionale Schritte eine Erhöhung der Qualität der Eingangsdaten bzw. der Verfahrensannahmen vorgeschlagen, um somit bessere und zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten. Diese Abstufung ergibt sich aus der unterschiedlichen Verfügbarkeit und Qualität der Daten:

- Schätzwerte, abgeleitete Eingangsgrößen aus ähnlichen Anlagen
- Stichprobenzählung an repräsentativen Tagen
- Datenerhebung nach TLS [BASt, 2002]

In den neu entwickelten Verfahren sind verschiedene Datenquellen möglich.

Die erarbeiteten Ergänzungsvorschläge könnten in Abstimmung mit den Autoren des Hinweispapieres [FGSV, 2007b] und der BASt weiterentwickelt und verbessert werden.

## 9 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Es sind Ergänzungen und Verbesserungsvorschläge zu den bestehenden Verfahren in Kapitel 7 gemacht worden. Diese können nach Abstimmung in das Hinweispapier aufgenommen werden. Verfahren die noch nicht im Hinweispapier enthalten sind, wurden in diesem Forschungsprojekt neu entwickelt und mit Hilfe von Testdaten überprüft. Es ist zu berücksichtigen, dass die entwickelten Verfahren nicht auf eine genaue Wirksamkeitsprognose überprüft wurden.

Zur umfassenden Bewertung der ex-ante Wirksamkeitsschätzverfahren ist nicht nur eine Überprüfung der Verfahrensanwendbarkeit notwendig, sondern auch eine Evaluierung der geschätzten Wirkungen in der Realität. Dazu wird vorgeschlagen, alle ex-ante Verfahren an bereits bestehenden Anlagen zu überprüfen. Für diese Wirksamkeitsschätzung ist es notwendig, dass Daten aus Zeiträumen vor Inbetriebnahme zur Verfügung stehen. Eine Überprüfung der tatsächlich eingetretenen Wirkung und der prognostizierten Wirkung wäre somit möglich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich eine optimale Wirkung nur einstellen kann, wenn im Betrieb die Detektion fehlerfrei funktioniert und die Verfahrensparameter korrekt eingestellt sind. Des Weiteren ist das Wirkungspotential abhängig von der jeweiligen Steuerungsstrategie bzw. dem Steuerungsverfahren der VBA.

Aus diesen Gründen ist eine Evaluierung der Wirkung der VBA abhängig von der Steuerungsstrategie.

Es wird vorgeschlagen, auch eine Überprüfung der ex-post Verfahren durchzuführen und die Wirksamkeit mit unterschiedlichen Steuerungsverfahren zu prüfen. Bei weiteren Verfahrensentwicklungen sollte auf die FMEA zurückgegriffen werden, da diese als Hilfsmittel für eine optimale Entwicklung eines Verfahrens verwendet werden kann.

Weiterer Forschungsbedarf besteht zudem bei der Verfahrensdetaillierung. Bisher sind z.B. die Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung von SBA und NBA nur für 2- oder 3-streifige Richtungsfahrbahnen anwendbar, da die empirischen Untersuchungen nicht für andere Fahrstreifenanzahlen zur Verfügung stehen. Anzustreben ist es, für mehrstreifige Richtungsfahrbahnen ebenfalls funktionale Zusammenhänge zu finden und diese in den Verfahren zu integrieren. Für das Verfahren zur Schätzung der Verkehrssicherheit in NBA sollte der funktionale Zusammenhang zwischen stündlicher Verkehrsstärke und den Unfallkosten auch für einstreifige Bundesstraßen untersucht und in dem Verfahren ergänzt werden. Ebenfalls bestehen derzeit keine empirischen Untersuchungen zum Unfallgeschehen an Knotenpunkten, die mit KBA beeinflusst werden. Erkennt-

nisse aus diesen Untersuchungen könnten das bestehende Verfahren präzisieren und somit eine detaillierte Wirksamkeitsschätzung erreichen. Aus diesen Untersuchungen ließe sich ggf. ableiten, wie viele der Unfälle, die sich an Knotenpunkten

ereignen, durch eine KBA nicht nur adressierbar sind, sondern auch tatsächlich vermeidbar sind.

## Literaturverzeichnis

Athol, P., Bullen A., Highway Research Record, Vol. 456, HRB, National Research Council, Washington DC, 1973

Arnold, M.

Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs. Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“, Heft 820. Bonn 2001

ASFiNAG

Verkehrsstatistik Dauerzählstellen 2008, <http://www.asfinag.at/index.php?idtopic=20>, (Stand: 26.07.2008)

Assenmacher, S.

DIWA-Verkehrsunfalluntersuchung zur Abschätzung des Wirkpotenzials verbesserter Fahrerwarnung, 2007

Banks, J.H.

Flow Processes at a Freeway Bottleneck, Transportation Research Record No. 1287, 1990

BAST

Der Einfluss einer Zuflussregelung an Anschlussstellen auf die Verbesserung des Verkehrsflusses auf Autobahnen, Bergisch Gladbach, Heft 802, 2001

BAST

Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta), Bergisch Gladbach, 2004a

BAST

Entwurf und Bewertung von Verkehrsinformations- und Leitsystemen unter Nutzung neuer Technologien, Bergisch Gladbach, 1999

BAST

Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen, Heft 169, Bergisch Gladbach, 2008

BAST

Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen, Bergisch Gladbach. 2003

BAST

Merkblatt zur Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Bundesanstalt für Straßenwesen (MARZ), Ausgabe 1999

BAST

Straßenverkehrszählung 2005 - Ergebnisse, Heft 164, Bergisch Gladbach, 2005

BAST

Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS), Ausgabe 2002

BAST

Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002, Bergisch Gladbach, 2004b

BAST

Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland 2004, [http://www.bast.de/cln\\_005/nn\\_40694/DE/Publikationen/Infos/2007-2006/02-2006.html](http://www.bast.de/cln_005/nn_40694/DE/Publikationen/Infos/2007-2006/02-2006.html), (Stand: 15.03.2008)

Bayrisches Landesamt für Landwirtschaft

Wetterdatenabruf, <http://www.lfl.bayern.de/agm/start.php>, (Stand 04.06.2008)

BMV

Bewertung von Verkehrsleitsystemen, Nutzen-Kosten-Untersuchung für die Wechselwegweisung Rhein/Main, Bonn-Bad Godesberg, 1981

BMV

Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Bundesautobahnen RWBA, Bonn, 1986

BMV

Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen RWVA, Bonn, 1997a

BMV

Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen RWVA, Bonn, 1997a

BMVBS

Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs, Bonn, 2001

BMVBS

Leitfaden Verkehrstelematik, Hinweise zur Planung und Nutzung in Kommunen und Kreisen Darmstadt, 2006

BMVBS

Programm zur Verkehrsbeeinflussung auf Bundesautobahnen 2002 bis 2007, <http://www.bmvbs.de/Verkehr/Programme-1499/Programm-zur-Verkehrs-beeinflu.htm> (Stand: 24.07.2007)

BMVBS

Straßenverkehrsordnung (StVO), 2005

Bogenberger, K.

Adaptive Fuzzy Systems for Traffic Responsive and Coordinated Ramp Metering, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Tech. Univ. München, 2001

Brilon, W.; Geistefeldt, J.

Stochastische Kapazität von Straßenverkehrsanlagen, Vortrag Heureka, Stuttgart 2008

Brilon, W.; Zurlinden, H.

Kapazität von Straßen als Zufallsgröße, Straßenverkehrstechnik, Heft 4, 2004

Busch, F.

Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen, Summer School, 2007

Damann, W.

Standstreifenumnutzung auf der Autobahn A7 zwischen Hannover und Göttingen – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit. Straßenverkehrstechnik, S. 414 – 420, Heft 8, 2003

Ernhofer, O.

EURAMP Public Deliverable D3.5: Safety Critical Issues, 2006

FGSV

Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS), 1997

FGSV

Hinweise zur Erstellung von Zuflussregelungsanlagen, Entwurf, Bergisch Gladbach, 2007a

FGSV

Handbuch zur Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS, KV6 „Kommission Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“, Bergisch Gladbach, 2001

FGSV

Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung (ex ante) und Wirksamkeitsberechnung (ex post) von Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Bergisch Gladbach, 2007b

FGSV

Merkblatt für die Erfassung und Nutzung von Umfelddaten in Streckenbeeinflussungsanlagen Bergisch Gladbach, Entwurf 2008a

FGSV

Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Bergisch Gladbach, 1995



FGSV

Richtlinien für die Anlagen von Autobahnen RAA, Bergisch Gladbach, 2008b

FHWA

Control handbook, 1996

Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen

Handbuch für Verkehrssicherheit und Verkehrstechnik, Wiesbaden, 2006

Hochmuth, J., Corbin, J., Treazise, M., McKenna, D.

Wisconsin Ramp Analysis Tool (WRAT), 13<sup>th</sup> ITS World Congress, London, 2006

Keller H.

Verkehrstechnik – Verkehrsablauf, Verkehrssicherheit und Bemessungsverfahren im Straßenverkehr, München 2003

Kendall M.

Advanced theory of statistics, London, 1953

Kerner, B.

Zufussdosierung und Zufallscharakter der Straßenkapazität auf Schnellstraßen, Straßenverkehrstechnik 3.2006, S.117-123, 2006

Kimber, R. M., Hollis, E. M.

Traffic queues and delays at road junctions, TRRL Laboratory Report, LR 909, Crowthorne, 1979

Kotsialos, A.; Kosmatopoulos, E.; Papageorgiou, M.

EURAMP Public Deliverable D2.2: Current Status of ramp metering, 2004

Kühne, R.; Neumann, L. et al.

Auswirkungen von telematischer Beeinflussung verkehrsinfrastruktureller Kapazitäten auf die volkswirtschaftliche Rentabilität von Projekten der Bundesverkehrswegeplanung, Bonn, 1998

Lemke, K.

Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 153, Bergisch Gladbach, 2007

Nagl, P. et al

Ökonomische Aspekte von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) am Beispiel der VBA Tirol der ASFINAG, Straßenverkehrstechnik S. 130 – 139, Heft 3, 2008

Papageorgiou, M.; Blosseville, J. M.; Hadj-Salem, H.

La Fluidification des Rochades de l'Île de France: Un Projet d'Importance. Internal Report No. 1998-17, Dynamic Systems and Simulation Laboratory, Technical University of Crete, Chania, 1998

Papageorgiou, M.; Papamichail, I.

EURAMP Public Deliverable D7.5: Handbook of ramp metering, 2007

Pischner, T.; Hangleiter, S.; Lambacher, U.; Trupat, S.; Kühne, R.; Schick., P.

Ermittlung und Bewertung von Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf, 2003

Ponzlet, M.

Dynamik der Leistungsfähigkeiten von Autobahnen, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 16, 1996

Regler, M.

Verkehrsablauf und Kapazität auf Autobahnen, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 28, 2004

Rouphail, N. Tarko A., Li J.

Traffic flow theory, Chapter 9: Traffic flow at signalized intersections, 1992  
<http://www.tfhrc.gov/its/tft/chap9.pdf>, (Stand: 20.02.2008)

Schick, P.

Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses, Stuttgart, 2003

Siebentritt, F.

Entwicklung und Test eines Verfahrens zur verkehrsabhängigen Knotenpunktsteuerung am Beispiel des „Autobahnkreuz München-Nord“, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Verkehrstechnik der TU München, 2007

Siegener, W. et al.

Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Karlsruhe, 2000

Spangler, M.; Bogenberger, K.; Schulz, A.

Ein Steuerungsansatz für Netzbeeinflussungsanlagen basierend auf Fuzzy Logik. - In: Straßenverkehrstechnik Heft 7, 2003 (S. 364-371)

Statistisches Bundesamt

Straßenverkehrsunfallgesetz (StVUnfStatG) vom 15. Juni 1990, Wiesbaden, 2006

Steinhoff, C.

Online Bewertung der Akzeptanz und der Wirksamkeit präventiver Maßnahmen durch Streckenbeeinflussungsanlagen auf Autobahnen. München: Tech. Univ., Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrstechnik, 2003

Trapp, R.

Entwicklung eines proaktiven Verfahrens zur Rampenzuflusssteuerung und die Bewertung seiner Wirkung im Vergleich zu anderen Steuerungsverfahren, Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Heft 49, Aachen, 2006

Trapp, R.

Entwicklung eines proaktiven Verfahrens zur Zuflussregelung und die Bewertung seiner Wirkung im Vergleich zu anderen Steuerungsverfahren, Vortrag Heureka, Stuttgart, 2008

U.S. Department of Transportation

Ramp Management and Control, Handbook, 2006

VIC Roads

Persönliches Interview mit Herr Gaffney am 30.09.2008

Vukanovic S., Busch F., Kates

Ein intelligentes Modell zur Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen und ein empirisches Verfahren zur Optimierung im praktischen Einsatz, HEUREKA-Paper 2004

Webster F. V., Traffic signal settings, Road Research Technical Paper No. 39, London, Great Britain Road Research Laboratory, 1958

## Abkürzungsverzeichnis

ABDS	Autobahndirektion Südbayern
AD	Autobahndreieck
AK	Autobahnkreuz
AS	Anschlussstelle
BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMV	Bundesministerium für Verkehr
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung [Kfz/24h]
dWiSta	Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen
DZ	Dauerzählstelle
EWS	Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen
FE	Forschung und Entwicklung
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FL	Fahrleistung [Kfz · km]
FS	Fahrstreifen
FZS	Festzeitsteuerung
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßen
HFB	Hauptfahrbahn
KBA	Knotenbeeinflussungsanlage
Kfz	Kraftfahrzeuge
LKW	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
MARZ	Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen
MQ	Messquerschnitt
NBA	Netzbeeinflussungsanlage
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
OD-Matrix	Quelle-Ziel-Matrix
PKW	Personenkraftwagen
QBA	punktuell querschnittsbezogen wirksame Anlagen (Geschwindigkeitswarnanlage)
QS	Querschnitt
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
RWVA	Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen
RZ	Risikoprioritätszahl
SBA	Streckenbeeinflussungsanlagen
SIPO	Sicherheitspotenzial [1000 € / km · a]
U	Unfall

U(LV)	Unfälle mit leicht Verletzten
U(P)	Unfälle mit Personenschaden
U(PS)	Unfälle mit schwerem Personenschaden
U(SS)	Unfälle mit schwer wiegendem Sachschaden
UH	Unfallhäufung
UHL	Unfallhäufungslinie
UHS	Unfallhäufungsstelle
UK	Unfallkosten
$U_{n, VBA}$	Unfallkosten im Bundesland der VBA nach Inbetriebnahme
$U_{n, VBA}$	Unfallkosten im Untersuchungsraum der VBA nach Inbetriebnahme
UR	Unfallrate
URP	Unfallrate (Unfälle mit Personenschaden)
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
WVZ	Wechselverkehrszeichen
WWW	Wechselwegweisung
ZFR	Zufussregelung

## Variablenverzeichnis

$n_{Kfz}$	Anzahl der Kfz
$Q, q$	Verkehrsstärke [Kfz/h]
$t_g$	effektive Freigabezeit der LSA
$t_{HFB/Rampe}$	Reisezeit der HFB oder der Rampe
$t_R$	Reisezeit
$t_u$	Umlaufzeit der LSA
$v$	Geschwindigkeit [km/h]
$W$	Gesamtwartezeit
$w$	Wartezeit
$\Delta Q_{umgeleitet}$	Umgeleiteter Verkehr durch NBA-Maßnahme
$\lambda$	Ankunftsrate
$\mu$	Bedienungsrate
$\rho$	Auslastungsgrad

## Glossar

Begriff	Definition	VBA-Verfahren
Abbiege-Unfall	Der Unfall wurde ausgelöst durch den Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer an Kreuzungen, Einmündungen.	KBA
Adressierbare Unfälle	Die adressierbaren Unfälle beschreiben die Summe der Unfälle, die durch eine Beeinflussungsmaßnahme prinzipiell angesprochen werden. Diese Unfälle können möglicherweise durch Aktivierung der VBA vermieden werden. Ob es trotz VBA zu einem Unfall kommt, hängt von weiteren Einflussfaktoren ab.  Unfälle, die aufgrund von menschlichem Versagen, wie beispielsweise Alkoholeinfluss, eingetreten sind, können durch eine VBA-Maßnahme nicht beeinflusst werden und sind somit nicht als adressierbare Unfälle zu werten.	alle
Beeinflussbare Unfälle	Beeinflussbare Unfälle sind eine Teilmenge der adressierbaren Unfälle. Diese Unfälle werden bei vorgesehener Funktion der Anlage und vorschriftsmäßiger Befolgung der geschalteten Beeinflussungsmaßnahme de facto vermieden. Ein „Abminderungsfaktor“, der beschreibt, wie viele Unfälle tatsächlich vermieden werden können, hängt von mehreren Einflussfaktoren ab.	alle
Einbiegen/Kreuzen-Unfall	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrtberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen, Einmündungen oder vergleichbaren Situationen.	KBA
Engpass	Verkehrstechnischer Engpass, d.h. ein Querschnitt mit geringerer Kapazität als die stromauf liegenden Querschnitte.	SBA
NBA-relevante Störungen	Größe, die die Häufigkeit derjenigen Störungen auf BAB-Netzmaschen ohne NBA beschreibt, die bei vorhandener NBA eine Schaltung auslösen würden.	NBA
Sonstiger Unfall	Unfall, der sich nicht anderen Unfalltypen zuordnen lässt. Beispiele: Wenden, Rückwärtsfahren, Parker untereinander, Hindernis oder Tier auf der Fahrbahn, plötzlicher Fahrzeugschaden (Bremsversagen, Reifenschaden o.ä.)	alle
Störung	Absinken der Geschwindigkeit unter den Wert $v_{\text{Störung}} = 30 \text{ km/h}$ bei einer Dichte $> 50 \text{ Fz/km}$ (oder entsprechende ortsspezifische Parametrierungen).	SBA, NBA
Szenariospezifisches Beeinflussungspotential	Verkehrsmenge (Fz-Anzahl), die eine Route zwischen Entscheidungs- und Zielpunkt während eines definierten Beobachtungszeitraums ganz durchfährt.	NBA

Unfall im Längsverkehr	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Konflikt nicht einem anderen Unfalltyp entspricht.	alle
Unfall mit Getöteten	Mindestens ein Verkehrsteilnehmer wurde beim Unfall getötet oder verstarb innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen.	alle
Unfall mit Leichtverletzten	Mindestens ein Verkehrsteilnehmer wurde beim Unfall verletzt.	alle
Unfall mit Schwerverletzten	Mindestens ein Verkehrsteilnehmer wurde beim Unfall so schwerverletzt, dass er zur stationären Behandlung (mindestens 24 Std.) in ein Krankenhaus eingeliefert wurde.	alle
Unfallart	Die Unfallart beschreibt die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge zueinander beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn.	alle
Unfalldichte	Die Unfalldichte beschreibt die Anzahl der Unfälle pro Kilometer in einem Jahr.	alle
Unfallkategorie	Die Unfallkategorie leitet sich aus dem größten Schaden, den mindestens ein Unfallbeteiligter erlitten hat, ab.	alle
Unfallkostenrate	Die Unfallkostenrate beschreibt die durchschnittlichen volkswirtschaftlichen Kosten, die bei einer Fahrleistung von 1.000 Kfz-km entstanden sind.	alle
Unfallrate	Die Unfallrate UR beschreibt die durchschnittliche Anzahl an Unfällen bei der streckenbezogenen Fahrleistung.	alle
Unfalltyp	Ein Unfalltyp beschreibt den konfliktauslösenden Moment, aus dem der Unfall entstanden ist.	alle
Unfallursache	Die Unfallursache beschreibt, welcher Umstand zu dem Unfall geführt hat. Es können pro Unfall mehrere Unfallursachen aufgeführt werden.	alle

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Kategorien und Typen von VBA [nach FGSV, 2007b].....	2
Abbildung 2-2: Skizze einer NBA [Summer School 2007] .....	4
Abbildung 2-3: Beispiel für einen dWiSta-Querschnitt [ <a href="http://www.move-info.de/vmz.html">http://www.move-info.de/vmz.html</a> ].....	4
Abbildung 2-4: Beispiel für eine SBA ohne Seitenstreifenfreigabe [Autobahndirektion Südbayern] .....	4
Abbildung 2-5: Beispiel für eine variable Fahrstreifenzuteilung [Siebentritt, 2007].....	5
Abbildung 2-6: Beispiel für eine ZFR [FGSV, 2007a].....	5
Abbildung 3-1: Bedarfskriterien für eine KBA, nach WRAT [Hochmuth J. et al, 2006].....	8
Abbildung 4-1: UR mit Personenschäden bezogen auf die stündliche Verkehrsstärke – 2-streifige Richtungsfahrbahn [BASt, 2003].....	14
Abbildung 4-2: UKR bezogen auf die stündliche Verkehrsstärke – 2-streifige Richtungsfahrbahn [BASt, 2003].....	15
Abbildung 4-3: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirksamkeitsuntersuchung: Verkehrssicherheit NBA	16
Abbildung 4-4: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirksamkeitsuntersuchung: Verkehrssicherheit KBA	20
Abbildung 4-5: Staubereich ohne ZFR .....	24
Abbildung 4-6: Staubereich mit ZFR .....	24
Abbildung 4-7: Stochastische und deterministische Wartezeitfunktion, Übergangsfunktion [Rouphail et al., 1992].....	24
Abbildung 4-8: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirkungsermittlung: Verkehrsfluss ZFR.....	25
Abbildung 4-9: Nutzen der ZFR.....	28
Abbildung 5-1: Testfeld NBA (Teil Südhessen): A 5 und A 6/A 67 (“Bergstraßenkorridor”) [GooglePro]..	29
Abbildung 5-2: Ergebnis der Wirkungsschätzung einer NBA im Testfeld „Bergstraßenkorridor“ auf die Verkehrssicherheit.....	31
Abbildung 5-3: Beispielhaftes Schema für eine Definition der einzelnen NBA-Funktionen auf strategischer Ebene .....	34
Abbildung 5-4: Testfeld SBA: A 9 bei München Fahrtrichtung Nord [GooglePro].....	34
Abbildung 5-5: Anzahl gestauter Kfz für einen fiktiven Beispielfall .....	39
Abbildung 5-6: Reale Stausituation und nachberechnete Stausituation nach [FGSV, 2007b] aufgrund eines Unfalls .....	39
Abbildung 5-7: Testfeld KBA (variable FS-Zuteilung) Knotenpunkt Innsbruck-Amras.....	40
Abbildung 5-8: Testfeld KBA (ZFR): AS Allershausen (A 9) [Bayrische Vermessungsverwaltung].....	41
Abbildung 5-9: Ausschnitt aus der Excel-Datei zur Verkehrssicherheitsschätzung von KBA.....	42
Abbildung 5-10: Verfahrensschritte für eine ex-ante Wirkungsermittlung: Verkehrsfluss variable FS-Zuteilung.....	44
Abbildung 5-11: Vorabschätzung des Nutzens der KBA am Knotenpunkt Innsbruck-Amras, eingesparte Reisezeit [h].....	44
Abbildung 5-12: Vorabschätzung des Nutzens der KBA an der AS Allershausen, eingesparte Reisezeit [h] .....	45
Abbildung 5-13: Darstellung der Beeinflussungsfälle der KBA je Monat .....	45
Abbildung 6-1: FMEA-Ablaufplan .....	46
Abbildung 6-2: Definition der Kennzahlen je Klassifizierungskategorie .....	48

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung (ex-ante) [FGSV, 2007b] .....	5
Tabelle 3-2: Verfahren zur Wirksamkeitsberechnung (ex-post) [FGSV, 2007b].....	6
Tabelle 3-3: Gegenüberstellung des Nutzens unterschiedlicher Algorithmen in €/a [Trapp, 2006].....	9
Tabelle 3-4: Sicherheitsgewinn durch ZFR in USA [U.S. DoT, 2006].....	10
Tabelle 3-5: Wirkungen bzgl. des Verkehrsflusses durch ZFR in USA [U.S. DoT, 2006].....	10
Tabelle 4-1: Berücksichtigte Unfallkategorien in den Verfahren .....	10
Tabelle 4-2: Relevante Unfalltypen für die Verfahren .....	11
Tabelle 4-3: Relevante Unfallarten für die Verfahren .....	11
Tabelle 4-4: Unfallkostensätze für Personenschäden je verunglückte Person [BASt, 2004] .....	11
Tabelle 4-5: Unfallkostensätze für Sachschäden [BASt, 2004].....	11
Tabelle 4-6: Eingangsdaten für Verfahren NBA: Verkehrssicherheit.....	18
Tabelle 4-7: Eingangsdaten für das Verfahren KBA: Verkehrssicherheit .....	21
Tabelle 4-8: Adressierbare Unfalltypen durch eine variable Fahrstreifenzuteilung.....	22
Tabelle 4-9: Adressierbare Unfallarten durch eine variable Fahrstreifenzuteilung .....	22
Tabelle 4-10: Adressierbare Unfalltypen durch eine ZFR .....	23
Tabelle 4-11: Adressierbare Unfallarten durch eine ZFR.....	23
Tabelle 4-12: Mögliche Belastungskombinationen der HFB und der Rampe .....	25
Tabelle 4-13: Mindestzeiten für Signalbilder der LSA [FGSV, 2007a] .....	26
Tabelle 4-14: Eingangsdaten für das Verfahren KBA: Verkehrsfluss .....	28
Tabelle 5-1: Anwendungsschritte der Excel-Datei, <i>NBA Wirkungsschätzung Verkehrssicherheit.xls</i> .....	30
Tabelle 5-2: Anwendungsschritte der Excel-Datei, <i>NBA Wirkungsschätzung Verkehrsfluss.xls</i> .....	33



## Formelverzeichnis

Formel 4-1: Unfallrate .....	11
Formel 4-2: Unfallkosten .....	11
Formel 4-3: Unfallkostenrate .....	12
Formel 4-4: Unfalldichte .....	12
Formel 4-5: Unfallkostendichte .....	12
Formel 4-6: Wartezeit nach M/G/1 .....	13
Formel 4-7: Konstante C für Wartezeitberechnung nach M/G/1 .....	13
Formel 4-8: Wartezeit bedingt durch Sperrzeit der LSA .....	13
Formel 4-9: Gesamtwartezeit (mit ZFR) .....	13
Formel 4-10: Länge der Warteschlange nach M/G/1 .....	13
Formel 4-11: UKR nach der stündlichen Verkehrsstärke – 2-streifige Richtungsfahrbahn [BASt, 2003] ..	15
Formel 4-12: UKR nach der stündlichen Verkehrsstärke – 3-streifige Richtungsfahrbahn [BASt, 2003] ..	15
Formel 4-13: Summe der Unfallkosten UK .....	16
Formel 4-14: Wirkung einer NBA auf die Verkehrssicherheit .....	17
Formel 4-15: Beeinflusster Verkehr .....	19
Formel 4-16: Näherung für Ein- und Ausschaltzeiten, ZFR .....	20
Formel 4-17: Wirtschaftliches Wirksamkeitspotential .....	22
Formel 4-18: Reisezeitermittlung ohne ZFR .....	26
Formel 4-19: Reisezeitermittlung mit ZFR - HFB .....	26
Formel 4-20: Reisezeitermittlung mit ZFR – Rampe .....	26
Formel 4-21: Summierte Reisezeit ohne ZFR .....	27
Formel 4-22: Summierte Reisezeit mit ZFR .....	27
Formel 5-1: UR der Personenschäden ohne Nebel .....	36
Formel 6-1: Berechnung der RZ (ursprüngliche FMEA) .....	47
Formel 6-2: Berechnung der RZ .....	47

## **Anhang**

- A) FMEA**
- B) Verfahren**

NBA - Verkehrsfluss		Klassifizierungskategorien				Risiko beurteilung			
Eingangswert	Quelle	Eingangsgröße für Verfahren (-schritt)	Risikoklassifizierung	V*	Q*	B	E	FMEA RZ	Kommentar zur Risiko beurteilung
Netzmodell	alle dazu erforderlichen Angaben, z.B. Abschnittslänge, Fahrstreifenanzahl etc.		(B) geht linear in Berechnung ein.	5	1	7	5	35	
OD-Matrix	z.B. aus dem BW/P als 24h-Verkehrsmodell			6	3	7	8	155	
Tagesganglinien (1h) pro Streckenabschnitt	z. B. aus [BAST, 2004b]	stundenbezogene OD-Matrix		2	5	2	10	76	
Störungsdaten		Störfallszenario		6	3	5	10	132	
Verkehrsstärke q im 1h Intervall für jeden Streckenabschnitt	TLS	zur Kalibrierung des Modells	(V) TLS-Daten ***	6	5	7	6	210	
Anpassen der OD-Matrix und des Netzmodells, so dass die errechneten Werte den realen Messwerten nahe kommen --> stundenbezogene OD-Matrix		Verfahrensschritt 4 und 6 (kleine Netzmaschen)	(V) Hoher Aufwand eine OD-Matrix für Teilnetz zu generieren.	10	2	7	5	91	
				Verfahrensschritt 4 und 6 (große Netzmaschen)	2	2	7	5	57
Ermittlung Störfallszenario (Störungstyp, -ort, -häufigkeit)		Verfahrensschritt 13		6	2	5	5	53	
Befolgungsraten bei NBA	aus [FGSV, 2007] Kap. 5.2.2	Verfahrensschritt 15		1	9	6	8	319	(Q) die vorgegebenen Befolgungsraten sind sehr pauschal und tendenziell etwas hoch.

\* bezogen auf das Testfeld  
\*\* je Abschnitt

\*\*\* TLS-Daten müssen bereitgestellt und ausgewertet bzw. aggregiert werden. Nur bei Abschnitten mit Detektion möglich. Externe Einflüsse (z.B. Zeiten mit Baustellen etc.) müssen gefiltert werden.

SBA - Zeitkosten aufgrund von unfallbedingten Staustunden				Klassifizierungskategorien					Risikobeurteilung	
Eingangswert	Quelle	Eingangsgröße für Verfahren(-schritt) (VS)	Kommentar zu Risikoklassifizierung	V*	Q*	B	E	RZ	Kommentar zur Risikobeurteilung	
										FMEA
Auswahl Staus aufgrund Unfall	Unfalldatenbank TLS	(VS 3)	(V) Aufwand abh. von Bereitstellung (Papier, digital) Prinzipielle Verfügbarkeit gut, jedoch Aufbereitungsaufwand hoch. (Q) Dunkelziffer; Aufzeichnung	3	5	10	9	360	Die Kombination aus der nicht sehr guten Qualität, starkem Einfluss auf das Verfahren und geringer Entdeckungswahrscheinlichkeit führt zu einer hohen RZ!	
Anzahl Fahrstreifen im Unfallbereich		(VS 9)		1	1	3	5	11		
Zufluss an Kfz in den gestauten Bereich	TLS	(VS 10)	(V) Wahl des richtigen Erhebungspunktes könnte kritisch sein	5	2	7	8	99		
Annahmen										
Kapazität des Abschnitts mit Unfall; Abfluss aus dem gestauten Bereich	Annahme aus HBS Kapazitäten und Verringerungsfaktor nach Unfallschwere (Regler, 2004)	Ermittlung der Stauauswirkung (VS 10)		2	7	7	7	270		
Reduktion der Staulängen: bei 11-25 km 25% Reduktion; ab 26 km 75% Reduktion	Annahme aus [FGSV, 2007] Kap. 4.3.4	Verringerung der Staulänge bei Längen (VS 10)		1	10	6	5	228	Die vorgeschlagenen Reduktion der Staulängen birgt zwei ungünstige Stellen, die inhaltlich sehr fragwürdig sind	
Reduktion der Reisezeiten bedingt durch unfallbedingte Staus um 30 %	Annahme aus Siegener (Ex ante Verrechnungsverfahren in Vorschlag 3 ?)	Reduktion der Gesamtreisezeit (VS 13)		1	7	9	7	328		

\* bezogen auf Testfeld

KBA-Verkehrssicherheit (variable FS-Zuteilung, Zufussregelung)		Klassifizierungskategorie		Risiko		Risiko		Risiko	
Eingangswert	Quelle	Eingangsgroße für Verfahren(-schritt)	Kommentar zu Risikoklassifizierung	V*	Q*	B	E	RZ	Kommentar zur Risikoüberprüfung
Länge BAB-Abschnitt HFB [km]	gemessen (BAB-Pläne)	Klassifizierung der adressierbaren Unfälle: UR	(B) ist entscheidend für die Anzahl der betrachteten Unfälle, dennoch ist der Einfluss nicht überproportional anzusehen, da die Aufnahme der Unfälle sowie die Festlegung der BAB-Abschnitte [m] genau erfolgt	5	1	3	5	15	
	pauschal nach [FGSV, 2007]		(B) Mindestwerte aus [FGSV, 2007] erfassen wahrscheinlich weniger Unfälle als bei selbst festgelegtem Betrachtungsraum, aber wahrscheinlich eher die adressierbaren durch KBA	5	1	3	5	15	
Länge BAB-Abschnitt Einfahrt [km]	gemessen (BAB-Pläne)	Klassifizierung der adressierbaren Unfälle: UR	(B) ist entscheidend für die Anzahl der betrachteten Unfälle, dennoch ist der Einfluss nicht überproportional anzusehen, da die Aufnahme der Unfälle sowie die Festlegung der BAB-Abschnitte [m] genau erfolgt	5	1	4	5	20	
	pauschal nach [FGSV, 2007]		(B) Mindestwerte aus [FGSV, 2007] erfassen wahrscheinlich weniger Unfälle als bei selbst festgelegtem Betrachtungsraum, aber wahrscheinlich eher die durch KBA adressierbaren	5	1	4	5	20	
Anzahl Fahrstreifen HRB, Einfahrt [-]		Festlegung der max. Verkehrsstärke aus HBS (2001)	(B) Schwellenwert für Verkehrsstärkeintervalle mit aktiver KBA; Ablesen der Werte aus Tabelle	5	1	3	4	13	
		Festlegung der max. Verkehrsstärke aus HBS (2001)	(B) Schwellenwert für Verkehrsstärkeintervalle mit aktiver KBA; Ablesen der Werte aus Tabelle	5	1	3	4	13	
SV-Anteil [%]**	TLS	Festlegung der max. Verkehrsstärke aus HBS (2001)	(V) TLS-Daten***	3	4	4	8	104	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Verkehrsstärke q [Kfz/h]**	TLS	Festlegung der Zeitfenster, wenn KBA aktiv wäre	(V) Aggregation der TLS-Daten erforderlich (B) Festlegung des Zeitfensters, wenn KBA aktiv wäre	3	4	4	8	104	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Referenzganglinien *(alternativ zu Verkehrsstärken aus TLS)	z. B. aus [BASi, 2004b]	Festlegung der Zeitfenster, wenn KBA aktiv wäre		9	2	4	9	72	
Unfallaten (mit allen rel. Unfallinformationen)	Unfallatenbank	adressierbare Unfälle	(V) Aufwand abh. von Bereitstellung (Papier, digital), Prinzipielle Verfügbarkeit gut, jedoch Aufbereitungsaufwand hoch.	6	5	8	10	352	(B) Bedeutung für das Verfahren ist groß, da in diesem Schritt die Auswahl getroffen wird, ob ein Unfall adressierbar ist
DTV/[Kfz24h]	gemessen	UR		5	2	3	9	47	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
	aus [BASi, 2005]			9	2	4	9	72	(E) DTV ist für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Unfallkostensatz [€]	[BASi, 2004]	UK		1	1	3	10	22	(E) Unfallkostensätze von der BASi jährlich ermittelt, (aktuellster Stand: 2004)

\* bezogen auf das Testfeld  
\*\* je Abschnitt

\*\*\* TLS-Daten müssen bereitgestellt und ausgewertet bzw. aggregiert werden. Nur bei Abschnitten mit Detektion möglich. Externe Einflüsse (z.B. Zeiten mit Baustellen etc.) müssen gefiltert werden.

**Bemerkung:** für die Verfahren "Verkehrssicherheit" sind für die Ermittlung der Wirkung für variable Fahrstreifenanzahl und Zufussregelung die gleichen Eingangsdaten erforderlich.

### SBA - Zeitkosten aufgrund von verkehrsbedingten Stausstunden

Eingangswert	Quelle	Eingangsgröße für Verfahren( schritt) (VS)	Kommentar zu Risikoklassifizierung	Klassifizierungskategorien					RZ	Risikobeurteilung FMEA	Kommentar zur Risikobeurteilung
				V*	Q*	B	E	RZ			
Auswahl Staus aufgrund Überlastung	TLS	VS 3		6	2	9	10	158	Die Kombination aus der nicht sehr guten Qualität, starkem Einfluss auf das Verfahren und geringer Entdeckungswahrscheinlichkeit führt zu einer hohen RZI		
Anzahl Fahrstreifen [-]		Ermittlung der mittleren Kapazität des Engpasses	(Q) schwierig wenn sich Anzahl der Fahrstreifen ändert	5	1	5	5	25			
Gesamte Stausstunden pro Jahr [h]	TLS	gesamte Staubelastung pro Jahr (VS 5a)		5	2	7	6	80			
Mittlere Staulänge [km]	TLS	" (VS 5b)	(V/Q) über die Länge zwischen zwei Detektoren können nur geringe Aussagen gemacht werden	5	5	7	8	249			
Mittlere Kapazität des Engpasses (aus Datenanalyse) für die Ermittlung der betroffenen Kfz	TLS	" (VS 6)	(V) schwierig zu ermitteln, da der Stau in Bewegung ist und der Ort des Engpasses sich verschiebt	7	5	7	5	196			
Annahmen											
V <sub>Stau</sub> = 30 km/h	Annahme aus [FGSV, 2007] Kap. 4.3.4	Annahme (VS 5c)		1	5	6	5	114			
Mittlere Kapazität des Engpasses (nach HBS*) für die Ermittlung der betroffenen Kfz	HBS, 2001	Annahme HBS (VS 6)		1	7	7	7	255			
5% aller Stausstunden können verhindert werden	Annahme aus [FGSV, 2007] Kap. 4.3.4	Annahme zur Berechnung des Nutzens (VS 8)	(B) geht linear in die Berechnung ein	1	5	9	8	266			

\* bezogen auf Testfeld

SBA - Verkehrssicherheit		Eingangsgröße für Verfahren(-schritt)		Klassifizierungskategorien					Risikoaburteilung	
Eingangswert	Quelle	Eingangsgröße für Verfahren(-schritt)	Kommentar zu Risikoklassifizierung	V*	Q*	B	E	FMEA	RZ	Kommentar zur Risikoaburteilung
Länge des Abschnittes [km]		UR (VS 3)	(6) geht linear in die Nebelunfälle ein	1	1	7	5	27		
Anzahl Fahrstreifen [-]		Festlegung Unfallrate mit SBA (VS 3)	Sehr schwer zu erheben und die Qualität ist ebenfalls nicht so gut bedingt durch falsche Detektion oder nicht bekannte Ausbreitung des Nebels	5	1	3	5	15		
Anzahl Nebelstunden [h]		UR Nebelereignisse (VS 4,6)	Sehr schwer zu erheben und die Qualität ist ebenfalls meist nicht so gut bedingt durch falsche Detektion oder nicht bekannte Ausbreitung des Nebels	7	5	8	9	336		Der angenommene 80%-ige Rückgang der Nebelunfälle fällt sehr stark ins Gewicht wobei die Detektion von Nebelsituationen und Unfällen bei Nebel sehr schlecht ist
Anzahl Fahrzeuge während Nebel [Fz x km]	TLS	UR Nebelereignisse (VS 4,6)	Sehr schwer zu erheben und die Qualität ist ebenfalls meist nicht so gut bedingt durch falsche Detektion oder nicht bekannte Ausbreitung des Nebels	5	2	8	8	114		Der angenommene 80%-ige Rückgang der Nebelunfälle fällt sehr stark ins Gewicht wobei die Detektion von Nebelsituationen und Unfällen bei Nebel sehr schlecht ist
Anzahl Unfälle aufgrund von Nebel [-]	TLS	UR Nebelereignisse	Sehr schwer zu erheben und die Qualität ist ebenfalls meist nicht so gut bedingt durch falsche Detektion oder nicht bekannte Ausbreitung des Nebels	8	7	9	8	504		Der angenommene 80%-ige Rückgang der Nebelunfälle fällt sehr stark ins Gewicht wobei die Detektion von Nebelsituationen und Unfällen bei Nebel sehr schlecht ist
DTV [Fz / (Tag x km)]	TLS	UR ohne Nebel (VS 4,6)	(V) Aufwand abh. von Bereitstellung (Papier, digital) Prinzipielle Vertriegbarekeit	5	2	6	8	85		(E) Qualität der TL S-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
U(P+S+SS) gesamt	Unfalldatenbank	UR ohne Nebel (VS 4)	(V) Aufwand abh. von Bereitstellung (Papier, digital) Prinzipielle Vertriegbarekeit	3	5	8	10	316		(E) Fehler in der Unfalldatenerfassung sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
U(P+S) gesamt	Unfalldatenbank	UR ohne Nebel (VS 4)	(V) Aufwand abh. von Bereitstellung (Papier, digital) Prinzipielle Vertriegbarekeit gut, jedoch Aufbereitungsaufwand hoch.	3	5	8	10	316		(E) Fehler in der Unfalldatenerfassung sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
U(SS) gesamt	Unfalldatenbank	UR ohne Nebel (VS 4)	(V) Aufwand abh. von Bereitstellung (Papier, digital) Prinzipielle Vertriegbarekeit gut, jedoch Aufbereitungsaufwand hoch.	3	5	8	10	316		(E) Fehler in der Unfalldatenerfassung sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
<b>Annahmen</b>										
fixe Unfallrate mit SBA für 2 und 3 streifigen Bereich	Siegener, 2000	Annahme für UR mit SBA (VS 4)		1	6	9	5	205		
15% Rückgang der Unfälle mit U(SS)	Siegener, 2000	Annahme für UR(SS) mit SBA (VS 5)		1	6	9	5	205		
80% Rückgang der Unfälle mit U(P)	Siegener, 2000	Annahme für UR bei Nebel mit SBA (VS 8)		1	6	9	5	205		
Umnutzungsfaktoren der Unfallrate bei Seitenstreifenummutzung	Arnold 2001	Annahme für Nutzen mit SBA bei Seitenstreifen-freigabe (Ergänzung)		1	5	7	7	182		

\* bezogen auf das Testfeld

KBA- Verkehrsfluss (Zulassungsregelung)		Eingangsgröße für Verfahren (-schritt)		Klassifizierung	Klassifizierungskategorien					Risiko- beurteilung	
Eingangswert	Quelle			Risikoklassifizierung	V*	Q*	B	E	RZ		
Länge BAB-Abschnitt HFB [km]	gemessen (BAB-Pläne)	Reisezeit HFB	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein, aber mit groben Abweichungen von min. Werten aus [FGSV, 2007] ist nicht zu rechnen	2	1	4	5	16	(E) Genauigkeit der Längen in [m] ausreichend; Abzulesen aus div. Kartenmaterial		
Länge BAB-Abschnitt HFB [km]	pauschal nach [FGSV, 2007]	Reisezeit HFB	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein (geringe Ungenauigkeit zu gemessener Länge)(V) T.L.S-Daten ***	1	1	4	1	4	(B) mittlere Bedeutung für das Verfahren, da "Fehler" bei Berechnung der Reisezeit mit und ohne ZFR gemacht wird		
Länge BAB-Abschnitt Rampe [km]	gemessen (BAB-Pläne)	Reisezeit Rampe; Staulänge	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit und der Rückstaulänge ein	2	1	9	5	37	(B) bei falscher Rampenlänge werden evtl. Reisezeitenintervalle mit ZFR verworfen, weil evtl. die ermittelte Rückstaulänge die Rampenlänge übersteigt		
Anzahl Fahrstreifen [-] **	gemessen (BAB-Pläne)	max. Verkehrsstärke nach HBS (2001)	(B) Berechnung der max. Verkehrsstärke; Eingangswert für Tabelle in HBS (2001)	5	1	4	5	20			
SV-Anteil [%] **	TLS	max. Verkehrsstärke nach HBS (2001)	(B) Berechnung der max. Verkehrsstärke; Eingangswert für Tabelle in HBS (2001) (V) T.L.S-Daten ***	3	4	4	8	104	(E) Qualität der T.L.S-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.		
Verkehrsstärke q [Kfz/min] **	TLS	Verkehrsstärkekombinationen; Wartezeitberechnung	(B) Berechnung der max. Verkehrsstärke; Eingangswert für Tabelle in HBS (2001) (V) T.L.S-Daten ***	3	4	7	8	182	(E) Qualität der T.L.S-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.		
Geschwindigkeit v Kfz [km/h] **	TLS	Reisezeit HFB, Rampe	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein (V) T.L.S-Daten ***	3	4	7	8	182	(E) Qualität der T.L.S-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.		
Annahmen											
Servicezeit (ohne ZFR)		Reisezeit ohne ZFR		2	1	4	2	8			
Reduzierte Reisezeiten auf HFB		Reisezeit mit ZFR		1	2	6	8	71			
Servicezeit (mit ZFR)		Reisezeit mit ZFR		1	2	4	2	14			

\* bezogen auf Testfeld  
\*\* je Abschnitt  
\*\*\* T.L.S-Daten müssen bereitgestellt und ausgewertet werden. Nur bei Abschnitten mit Detektion möglich. Externe Einflüsse (z.B. Zeiten mit Baustellen etc.) müssen gefiltert werden. Eine Aggregation der Daten ist nicht nötig.



KBA - Verkehrsfluss (variable FS-Zuteilung)		Eingangswert		Quelle		Eingangsgröße für Verfahren (-schritt)		Kommentar zu Risikoklassifizierung		Klassifizierungskategorien					Risikobeurteilung		
										V*	Q*	B	E	FMEA	RZ	Kommentar zur Risikobeurteilung	
Länge BAB-Abschnitt HFB [km]	gemessen (BAB-Plane)	Reisezeit HFB	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein, aber mit groben Abweichungen von min. Werten aus [FGSV, 2007] ist nicht zu rechnen	5	1	8	5	40									
Länge BAB-Abschnitt HFB [km]	pauschal nach [FGSV, 2007]	Reisezeit HFB	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein (geringe Ungenauigkeit zu gemessenen Länge)	5	1	8	1	18									
Länge BAB-Abschnitt Zufahrt [km]	gemessen (BAB-Plane)	Reisezeit Zufahrt	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein	5	1	8	5	40									
Länge BAB-Abschnitt Zufahrt [km]	pauschal nach [FGSV, 2007]	Reisezeit Zufahrt	(B) geht direkt in die Berechnung der Reisezeit ein (geringe Ungenauigkeit zu gemessenen Länge)	5	1	8	1	18									
Anzahl Fahrstreifen [ ] **	gemessen (BAB-Plane)	max. Verkehrsstärke nach HBS (2001)	(B) Berechnung der max. Verkehrsstärke; Eingangswert für Tabelle in HBS (2001)	5	1	7	5	35									(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
SV-Anteil [%] **	TLS	max. Verkehrsstärke nach HBS (2001)	(B) Berechnung der max. Verkehrsstärke; Eingangswert für Tabelle in HBS (2001) (V) TLS-Daten ***	3	4	3	8	78									(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Verkehrsstärke q [Kfz/min] **	TLS	max. Verkehrsstärke im Beeinflussungsfall; Reisezeit HFB; Zufahrt	(B) Berechnung der max. Verkehrsstärke; Eingangswert für Tabelle in HBS (2001); Reisezeitermittlung (V) TLS-Daten ***	3	5	8	8	260									(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Geschwindigkeit v Kfz [km/h] **	TLS	?						0									
Annahmen																	
Reisegeschwindigkeit (80km/h)		Reisezeit		1	1	6	2	10									
Reisegeschwindigkeit im Stau (30 km/h)		Reisezeit		1	1	6	2	10									
* bezogen auf Testfeld																	
** je Abschnitt																	
*** TLS-Daten müssen bereitgestellt und ausgewertet bzw. aggregiert werden. Nur bei Abschnitten mit Detektion möglich. Externe Einflüsse (z.B. Zeiten mit Baustellen etc.) müssen gefiltert werden. Eine Aggregation der Daten ist nicht nötig.																	

NBA - Verkehrssicherheit		Eingangsgröße für Verfahren (-schritt)		Klassifizierungskategorien	Risikobewertung	Kommentar zur Risikobewertung			
Eingangswert	Quelle	Eingangsgröße für Verfahren (-schritt)	Kommentar zu Risikoklassifizierung	V	Q*	B	E	RZ	
Länge BAB-Abschnitt [km] **		mittlere Reisezeit: Wirkungen: UK	(B) geht linear in Berechnung ein. (B) Unterschiedliche Funktionen UK. In Verlauf und Größenordnung sind beide Funktionen ähnlich. (Verfahren ist nur für 2 oder 3 Fahrstreifen je Richtungsfahrbahn möglich)	1	1	10	5	38	(B) Falsche Angabe für einzelnen Abschnitt ändert das Ergebnis der Wirkungen überproportional
Anzahl Fahrstreifen [ ] **		Wirkungen: UK	(V) TLS-Daten *** (B) Die Auswirkungen sind bei ungenauen oder pauschalen Reisezeiten eher gering.	5	1	9	5	45	(B) Falsche Angabe für einzelnen Abschnitt ändert das Ergebnis der Wirkungen überproportional
mittlere Reisegeschwindigkeit Kfz [km/h] **	gemessen v85 aus RAS-L [FGSV, 1995] pauschal (z.B. 110 km/h)	mittlere Reisezeit -> Bestimmung NBA-rel. Störungen	(V) TLS-Daten *** (B) Im relevanten Zeitfenster sind die Unterschiede der UKR bedingt durch q gering.	3	4	4	8	104	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
			(V) Straßenkategoriegruppe -> v8 -> v85	2	4	4	1	21	
			(V) TLS-Daten *** (B) Im relevanten Zeitfenster sind die Unterschiede der UKR bedingt durch q gering.	1	7	4	1	28	
DTV [Kfz/24h] **	gemessen aus [BAST, 2005]	stündl. Verkehrsstärke	(V) Sehr hoher Aufwand RefGI selbst zu erstellen TLS-Daten *** (B) Im relevanten Zeitfenster sind die Unterschiede der UKR bedingt durch q gering.	3	3	4	8	78	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Referenzplattlinien (für Tagestypen) **	gemessen	stündl. Verkehrsstärke	(V) Daten *** (B) Im relevanten Zeitfenster sind die Unterschiede der UKR bedingt durch q gering.	1	3	4	10	88	(E) DTV ist für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
	z. B. aus [BAST, 2004b] Im Tool NBA-Vsicherheit vordefinierte pauschale RefGI		(V) Entsprechende OD-Matrix für Netzmasche muss vorliegen oder aus Teilnetz generiert werden. Definition von NBA-Maßnahmen erforderlich. (B) Geringer Einfluss auf Wirkungen.	2	5	2	10	76	(E) Gegebene RefGI sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
			(V) TLS-Daten *** (B) Geringer Einfluss auf Wirkungen.	1	6	2	10	88	(E) Gegebene RefGI sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Zielverkehr am Entscheidungspunkt [Kfz/24h] je NBA-Maßnahme	aus OD-Matrix	ΔU	(V) Entsprechendes Modell muss vorliegen. (B) Einfluss auf Wirkungen ist nicht linear.	5	2	3	8	43	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
Befolgung der (Normal-)Route im ungestörten Zustand [%]	gemessen	ΔU	Ein entsprechendes Modell muss vorliegen.	7	3	3	7	63	
	aus Strategie-Modell pauschal entsprechend Zeit- kurzester Route			1	6	3	1	18	
Häufigkeit Störungsmuster [Störungen/Jahr] **	aus TLS-Daten aus Meldungen	Wirkungen: UK	(V) TLS-Daten *** (B) Einfluss auf Wirkungen ist nicht linear.	6	4	5	10	176	(E) Qualität der TLS-Daten sind für Verfahrensanwender schwer zu verifizieren.
				7	3	5	6	95	
Mittlere Dauer des Störungsmusters [h/Störung]		Wirkungen: UK	(V) Als Ergebnis der Auswertungen 'Häufigkeit Störungsmuster' (B) Größerer Einfluss auf Wirkungen.	4	6	6	9	270	Die Kombination aus häufiger Auftretenswahrscheinlichkeit von Fehlern (Qualität), starkem Einfluss auf das Verfahren und geringer Entdeckungswahrscheinlichkeit führt zu einer hohen RZ!
Typisches Zeitfenster des Störungsmusters	falls vorhanden, ansonsten zwischen 0 – 24 Uhr aus [FGSV, 2007] Kap. 5.2.2	Wirkungen: UK ΔU (Verfahrensschritt 1)	(V) Als Ergebnis der Auswertungen 'Häufigkeit Störungsmuster' (B) Bei Verteilung der Störungen auf verkehrsschwache Stunden können größere Abweichungen der UK auftreten.	4	3	4	8	82	
Befolgungsraten bei NBA				1	9	6	8	319	(C) die vorgegebenen Befolgungsraten sind sehr pauschal und tendenziell etwas hoch.

\* bezogen auf das Testfeld  
\*\* je Abschnitt  
\*\*\* TLS-Daten müssen bereitgestellt und ausgewertet bzw. aggregiert werden. Nur bei Abschnitten mit Detektion möglich. Externe Einflüsse (z.B. Zeiten mit Baustellen etc.) müssen gefiltert werden.

**Verfahren**

Im Folgenden sind die druckfähigen Seiten der Verfahren dargestellt. Die Verfahren sind auf eine Excel-basierte Anwendung hin optimiert.

Begleitforschung und Ergänzung  
des Merkblatts "Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen"

FE 03.0425/2007/IGB

**Wirksamkeitsschätzung der Verkehrssicherheit (NBA)**

Auftraggeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Projektleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. Slavica Grošanić  
Dipl.-Ing. Alexander Dinkel  
Dipl.- Ing. Magnus Stadler  
Dipl.-Math.(FH) Andrea Schieferstein

**Wirksamkeit NBA - Verkehrssicherheit**

Festlegung des Untersuchungsraums:

Netzmasche		
Entscheidungspunkt	↗	0
Ende der Netzmasche	↗	0

Festlegung des Untersuchungszeitraums:

von  
bis

			R1(Normalroute)	R2(Alternativroute)	Gesamt	
Montag	NBA-relevante Störfälle Dauer	[StF*h/a]	30	15	0	
	Unfallkosten ohne Umleitung	UK [€/a]	12 192	17 846	30 038	
	Unfallkosten mit Umleitung	UK [€/a]	12 009	18 010	30 019	
	<b>Δ UK</b>	<b>UK [€/a]</b>	0	0	<b>-19</b>	
Normalwerktag	NBA-relevante Störfälle Dauer	[StF*h/a]	30	15	0	
	Unfallkosten ohne Umleitung	UK [€/a]	12 192	17 846	30 038	
	Unfallkosten mit Umleitung	UK [€/a]	12 009	18 010	30 019	
	<b>Δ UK</b>	<b>UK [€/a]</b>	0	0	<b>-19</b>	
Freitag	NBA-relevante Störfälle Dauer	[StF*h/a]	0	0	0	
	Unfallkosten ohne Umleitung	UK [€/a]	0	0	0	
	Unfallkosten mit Umleitung	UK [€/a]	0	0	0	
	<b>Δ UK</b>	<b>UK [€/a]</b>	0	0	<b>0</b>	
Samstag	NBA-relevante Störfälle Dauer	[StF*h/a]	0	0	0	
	Unfallkosten ohne Umleitung	UK [€/a]	0	0	0	
	Unfallkosten mit Umleitung	UK [€/a]	0	0	0	
	<b>Δ UK</b>	<b>UK [€/a]</b>	0	0	<b>0</b>	
Feiertag	NBA-relevante Störfälle Dauer	[StF*h/a]	0	0	0	
	Unfallkosten ohne Umleitung	UK [€/a]	0	0	0	
	Unfallkosten mit Umleitung	UK [€/a]	0	0	0	
	<b>Δ UK</b>	<b>UK [€/a]</b>	0	0	<b>0</b>	
NBA-relevante Störfälle Dauer			[StF*h/a]	60	30	0
Unfallkosten ohne Umleitung			UK [€/a]	24 384	35 692	60 076
Unfallkosten mit Umleitung			UK [€/a]	24 017	36 021	60 038
<b>gesamt</b>	<b>Änderung der Unfallkosten durch NBA Δ UK</b>		UK [€/a]			<b>-38</b>

**Es ergibt sich eine Reduzierung der Unfallkosten durch NBA Δ UK um 38 € pro Jahr.**

## Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts "Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen"

FE 03.0425/2007/IGB

### Wirksamkeitsschätzung der Verkehrsfluss (NBA)

Auftraggeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Projektleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. Slavica Grošanić  
Dipl.-Ing. Alexander Dinkel  
Dipl.- Ing. Magnus Stadler  
Dipl.-Math.(FH) Andrea Schieferstein

**Wirksamkeit NBA - Verkehrsfluss**

Festlegung des Untersuchungsraums:

Netzmasche		0
Entscheidungspunkt	▼	0
Ende der Netzmasche	▼	0

Festlegung des Untersuchungszeitraums:

von  
bis

	Störfall (mit Störung, ohne Beeinflussung)	Beeinflussungsfall (mit Störung, mit Beeinflussung)	Nutzen
Reisezeit der beeinflussten Abschnitte [min]	0	0	
Gesamtreisezeit je Störfall [Kfz-h/StF]	#WERT!	#WERT!	
Zeitkosten (gem. EWS97) [€/J]	#WERT!	#WERT!	
<b>Nutzen aus Reisezeitveränderung [€/J]</b>			#WERT!
Gesamt-Fahrleistung je Störfall [Kfz-km/StF]	0	0	
Gesamt-Fahrleistung [Kfz-km/Jahr]	0	0	
Betriebskosten-Grundwerte (gem. EWS97) [€/J]	0	0	
Kraftstoffkosten (gem. EWS97) [€/J]	#NV	#NV	
Betriebskosten (gem. EWS97) [€/J]	#NV	#NV	
<b>Nutzen aus veränderten Fahrzeugbetriebskosten [€/J]</b>			#NV

Es ergibt sich ein jährlicher Gesamtnutzen des Wirkungsszenarios [€/J] in Bezug auf den Verkehrsfluss von: #NV





Begleitforschung und Ergänzung  
des Merkblatts  
"Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen"

FE 03.0425/2007/IGB

**KBA:**  
**Wirksamkeitsschätzung der Verkehrssicherheit**

Auftraggeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Projektleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. Slavica Grošanić  
Dipl.-Ing. Alexander Dinkel  
Dipl.- Ing. Magnus Stadler  
Dipl.-Math.(FH) Andrea Schieferstein

Wirksamkeit KBA - Verkehrssicherheit

Untersuchungsraums:

Autobahn	#WERT!
Fahrtrichtung	#WERT!
Knotenpunkt	#WERT!

Untersuchungszeitraums:

von	0
bis	0
	0 Jahre

betrachtete Zeitintervalle:

von	0:00	bis	0:00 Uhr
von	0:00	bis	0:00 Uhr
von	0:00	bis	0:00 Uhr

**Unfallübersicht aller Unfälle**

**Unfallkosten (UK)**

gesamt:	#DIV/0!	<b>aller Unfälle</b>	
Unfallkosten Personenschaden		Unfallkosten Sachschaden	
Kategorie 1	#DIV/0!	Kategorie 1	#DIV/0!
Kategorie 2	#DIV/0!	Kategorie 2	#DIV/0!
Kategorie 3	#DIV/0!	Kategorie 3	#DIV/0!
		Kategorie 4	#DIV/0!

**Unfallrate (UR)**

gesamt:	#DIV/0!	[U/Fz-km]	<b>aller Unfälle</b>	
Anzahl der verunglückten Personen	0		Anzahl der Unfälle	#WERT!

**Unfallübersicht aller adressierbaren Unfälle (bei aktiver KBA)**

**Unfallkosten (UK)**

gesamt:	#DIV/0!	<b>aller adressierbaren Unfälle (bei aktiver KBA)</b>	
Unfallkosten Personenschaden		Unfallkosten Sachschaden	
Kategorie 1	#DIV/0!	Kategorie 1	#DIV/0!
Kategorie 2	#DIV/0!	Kategorie 2	#DIV/0!
Kategorie 3	#DIV/0!	Kategorie 3	#DIV/0!
		Kategorie 4	#DIV/0!

**Unfallrate (UR)**

gesamt:	#DIV/0!	[U/Fz-km]	<b>aller adressierbaren Unfälle (bei aktiver KBA)</b>	
Anzahl der verunglückten Personen	0		Anzahl der Unfälle	#WERT!

Begleitforschung und Ergänzung  
des Merkblatts  
"Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen"

FE 03.0425/2007/IGB

**KBA (variable Fahrstreifenzuteilung):  
Wirksamkeitsschätzung des Verkehrsflusses**

Auftraggeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Projektleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. Slavica Grošanić  
Dipl.-Ing. Alexander Dinkel  
Dipl.-Ing. Magnus Stadler  
Dipl.-Math.(FH) Andrea Schieferstein

## Wirksamkeitsschätzung der KBA (variable Fahrstreifenregelung)

für den Zeitraum :

am Knotenpunkt :

Nutzen aus eingesparter Reisezeit

[h]

jährliche Häufigkeit

0 pro Jahr 0

**jährlicher Gesamtnutzen:****0 [h] eingesparte Reisezeit pro Jahr**

Begleitforschung und Ergänzung  
des Merkblatts  
"Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen"

FE 03.0425/2007/IGB

**KBA (Zuflussregelung):**  
**Wirksamkeitsschätzung des Verkehrsflusses**

Auftraggeber:  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Projektleiter:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fritz Busch

Bearbeiter:  
Dipl.-Ing. Slavica Grošanić  
Dipl.-Ing. Alexander Dinkel  
Dipl.- Ing. Magnus Stadler  
Dipl.-Math.(FH) Andrea Schieferstein

Wirksamkeitsschätzung der KBA (Zuflussregelung)

für den Zeitraum :

am Kontenpunkt :

positiver Nutzen aus reduzierter Reisezeit	[h]
negativer Nutzen aus reduzierter Reisezeit	[h]
Differenz pos. Nutzen - neg. Nutzen	[h]

Anzahl der Belastungsfälle

Fall 1
Fall 2
Fall 3
Fall 4
keine Detektion

Anzahl Beeinflussungsfälle

B
U
U=B
B+R

