

# Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungs- anlagen über den gesamten Lebenszyklus

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 243

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

# Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungs- anlagen über den gesamten Lebenszyklus

von

Michael Balmberger  
Walter Maibach  
Hagen Schüller

PTV Transport Consult GmbH,  
Karlsruhe

Alexander Dahl  
Tanja Schäfer

PTV Planung Transport Verkehr AG,  
Karlsruhe

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 243**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.489/2011/MRB:**  
Ermittlung der Nutzen und Kosten von  
Verkehrsbeeinflussungsanlagen  
über den gesamten Lebenszyklus

**Fachbetreuung:**  
Thomas Jährig  
Stefan Matena

**Herausgeber**  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag**  
Fachverlag NW in der  
Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-110-3

Bergisch Gladbach, Oktober 2014

## Kurzfassung – Abstract

### Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus

Seit Ende der 80iger Jahre sind in Deutschland eine ganze Reihe von automatisch gesteuerten Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) im Einsatz. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat den Bau in den 90er Jahren stark forciert und in einem Rahmenprogramm gefördert. Vor diesem Hintergrund soll untersucht werden, welche Nutzen und Kosten solche Anlagen im Zuge ihres Lebenszyklus implizieren. Ziel der vorliegenden Arbeit war es deshalb, aufzuzeigen, wie sich solche Nutzen/Kosten-Verhältnisse präzisieren lassen, wenn der gesamte Lebenszyklus einer VBA betrachtet wird.

Im Rahmen einer Befragung von Betreibern solcher Anlagen wurden die Kosten der verschiedenen Lebensphasen erhoben. Es zeigte sich, dass sich für verschiedene Anlagentypen auch sehr unterschiedliche Verteilungen der Kostenanteile für die einzelnen Lebensphasen ergaben. Die Berechnung der Nutzen erfolgt auf der Basis bereits in anderen Forschungsvorhaben und im Rahmen der Arbeitskreise der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen entwickelten Methoden und Modelle.

Die so ermittelten Kostensätze und Nutzen dienen als Grundlage für Lifecycle-Tools, mit deren Hilfe eine Gesamtbewertung einer beliebigen VBA über den gesamten Lebenszyklus erstellt werden kann. In diese Lifecycle-Tools eingebunden sind die Excel-Tools der Technischen Universität München. Für die Wirksamkeitsberechnung von TSF wurde AVP-Programm zugrunde gelegt.

Anwendungen der Tools auf drei exemplarischen Anlagen zeigten, dass sich bei der Lebenszyklusbetrachtung grundsätzlich höhere Nutzen/Kosten-Verhältnisse ergeben als bei der bisherigen Betrachtungsweise. Mit den Lifecycle-Tools für VBA steht dem Anwender ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dessen Hilfe er innerhalb weniger Minuten eine Nutzen/Kosten-Abschätzung für den entsprechenden Anlagentyp über den gesamten Lebenszyklus vornehmen kann.

### Costs and benefits of traffic control systems over their entire life cycle

Since the end of the 1980s quite a number of automatically actuated traffic control systems have been in use on freeways in Germany. In the 1990s the German Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development pushed their implementation providing a considerable budget within a framework programme. Against this background the question has come up which costs and benefits such systems carry in the course of their life cycle. Therefore, the present study aimed at showing how such cost-benefit ratios can be assessed more precisely when taking into account the whole life cycle of a traffic control system.

A survey among the operators of such systems was undertaken to inquire the costs incurring during these different phases. It turned out that there are major differences between the individual system types regarding the costs distribution onto the individual phases. The benefit calculation was based on methods and models already developed in other research projects and relevant working committees of the Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV).

The cost rates and benefits determined serve as a basis for life cycle tools. These life cycle tools provide for an overall assessment of any traffic control system over its entire life cycle. They incorporate the Excel tools developed by TU Munich. To calculate the effectiveness of systems for the temporary opening of hard shoulders the AVT program was used.

Applications of the tools to three sample systems have revealed that costs and benefits calculated over the entire life cycle of a system lead to higher cost-benefit ratios than cost-benefit analyses carried out on the basis of conventions so far agreed. With the developed life cycle tools for traffic control systems the users have been provided a set of instruments which they can use to carry out a cost-benefit assessment over the entire life cycle of the respective type of system within a few minutes.



## Inhalt

<b>Abkürzungen</b> . . . . .	8	2.2.2 Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung . . . . .	18
<b>1 Einführung</b> . . . . .	9	2.2.3 Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs . . . . .	18
1.1 Problemstellung . . . . .	9	2.2.4 Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses . . . . .	19
1.2 Zielsetzung . . . . .	9	2.2.5 Simulation von Wirkungen ausgewählter Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung einzelner Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen bei einer vorgegebenen Straßeninfrastruktur . . . . .	20
<b>2 Literaturrecherche</b> . . . . .	9	2.2.6 Informationen über Alternativrouten als Grundlage für objektbezogene Bewertungsverfahren im BMS . . . . .	21
2.1 Maßgebende Untersuchungen . . . . .	9	2.2.7 Erarbeitung eines Verfahrens zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Erhaltungsmanagement . . . . .	22
2.1.1 Muster-RE-Entwurf für Verkehrsbeeinflussungsanlagen . . . . .	9	2.2.8 Entwicklung von Verfahrenshilfen für ein netzorientiertes Baustellenmanagement von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen . . . . .	23
2.1.2 Kostenstruktur von Verkehrsleitsystemen . . . . .	10	2.2.9 Ökonomische Aspekte von Streckenbeeinflussungsanlagen am Beispiel der VBA Tirol der ASFINAG . . . . .	23
2.1.3 Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf . . . . .	11	2.2.10 Untersuchung zu wirtschaftlichen Erhaltungsstrategien im Rahmen der Nutzungsdauer von Bauwerken . . . . .	24
2.1.4 Hinweise zur Wirksamkeitsabschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen . . . . .	12	2.3 Sonstige Untersuchungen . . . . .	24
2.1.5 Überarbeitung des Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen . . . . .	15	2.3.1 Leitfaden Verkehrstelematik . . . . .	24
2.1.6 Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts „Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ . . . . .	15	2.3.2 Zweckmäßigkeitkriterien für Infrastruktureinrichtungen von Straßenverkehrstelematik-Systemen . . . . .	24
2.1.7 Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs . . . . .	16		
2.1.8 Erstellung eines Projektplans Straßenverkehrstelematik 2009 für den Zeitraum 2009 bis 2015 sowie einer veröffentlichungsreifen und downloadfähigen Fassung des neuen „Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ . . . . .	17		
2.2 Spezielle Bewertungsverfahren . . . . .	17		
2.2.1 Untersuchung des verkehrswirtschaftlichen Nutzens einer Baustelle mit Richtungswechselbetrieb (Schiersteiner Brücke) . . . . .	17		

2.3.3	Entwurf eines Handbuches für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen . . . . .	25	4.2	Kosten der Planungsphase . . . . .	35
2.3.4	Hinweise für Zuflussregelungsanlagen . . . . .	26	4.3	Kosten der Bauphase . . . . .	36
2.3.5	Neuer Ansatz für standardisierte Ganglinien . . . . .	26	4.3.1	Generelles . . . . .	36
2.3.6	Neue Methoden zur Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen . . . . .	26	4.3.2	Bauüberwachungskosten . . . . .	36
2.3.7	Echtzeitbeurteilung und -optimierung der Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen . . . . .	26	4.3.3	Investitionskosten . . . . .	37
2.3.8	Quantifizierung der Verlagerungseffekte bei Bundesautobahnen im Rahmen von Bewertungsverfahren für Erhaltungsmaßnahmen . . . . .	27	4.4	Kosten der Betriebsphase . . . . .	39
2.4	Folgerungen aus der Literaturrecherche . . . . .	27	4.4.1	Generelles . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Konzept des Bewertungsverfahrens</b> . . . . .	<b>28</b>	4.4.2	Energiekosten . . . . .	39
3.1	Allgemeines . . . . .	28	4.4.3	Instandhaltungskosten . . . . .	40
3.2	Zielsystem . . . . .	28	4.4.4	Personalkosten . . . . .	42
3.3	Lebenszyklus . . . . .	29	4.4.5	Laufende Kosten in der Betriebsphase . . . . .	42
3.4	Nutzenkomponenten . . . . .	29	4.5	Kosten der Rückbauphase . . . . .	44
3.4.1	Zu berücksichtigende Komponenten . . . . .	29	4.5.1	Generelles . . . . .	44
3.4.2	Berücksichtigung unterschiedlicher Lebensphasen und Betriebszustände . . . . .	30	4.5.2	Bauüberwachungskosten in der Rückbauphase . . . . .	45
3.4.3	Verfahren zur Nutzenberechnung . . . . .	31	4.5.3	Rückbaukosten . . . . .	46
3.5	Kostenkomponenten . . . . .	31	4.6	Kosten in der Sanierungsphase . . . . .	46
3.6	Wertsyntheseverfahren . . . . .	32	4.6.1	Generelles . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Ermittlung der Kostenkomponenten</b> . . . . .	<b>32</b>	4.6.2	Personalkosten . . . . .	46
4.1	Allgemeines . . . . .	32	4.6.3	Investitionskosten . . . . .	46
4.1.1	Auswahl der Anlagen . . . . .	32	<b>5</b>	<b>Ermittlung der Nutzenkomponenten</b> . . . . .	<b>47</b>
4.1.2	Erhebungsergebnisse . . . . .	32	5.1	Allgemeines . . . . .	47
4.1.3	Preisstände und Inflation . . . . .	34	5.2	Betriebszustand „Normalbetrieb“ . . . . .	47
4.1.4	Normierung der Kosten . . . . .	34	5.2.1	Berechnungsverfahren für NBAn . . . . .	47
			5.2.2	Berechnungsverfahren für SBAn . . . . .	48
			5.2.3	Berechnungsverfahren für TSFn . . . . .	48
			5.2.4	Berechnungsverfahren für KBAn mit variabler Fahrsteifenzuteilung . . . . .	48
			5.2.5	Berechnungsverfahren für KBAn mit Zuflussregelung . . . . .	48
			5.3	Konzeption des Berechnungsverfahrens . . . . .	49
			5.3.1	Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für NBA . . . . .	50
			5.3.2	Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für SBA ohne Seitenstreifenfreigabe . . . . .	51

5.3.3	Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für SBA mit Seitenstreifenfreigabe . . . . .	52	6.2	Kosten der verschiedenen Lebensphasen . . . . .	64
5.3.4	Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für SBA mit Richtungswechselbetrieb . . . . .	53	6.3	Musteranlagen . . . . .	67
5.3.5	Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für KBA mit variabler Fahrstreifenzuteilung . . . . .	53	6.3.1	NBA A3/A7/A70/A73 Nürnberg-Schweinfurt . . . . .	68
5.3.6	Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für KBA mit Zuflussregelung . . . . .	54	6.3.2	SBA A5 Frankfurt-Gambacher Kreuz . . . . .	69
5.4	Nutzeneinschränkungen in der Betriebsphase . . . . .	55	6.3.3	ZFR A4 . . . . .	72
5.4.1	Ausfälle . . . . .	55	<b>7</b>	<b>Bewertungstool</b> . . . . .	73
5.4.2	Pannenfahrzeuge oder Unfälle . . . . .	56	7.1	Generelles . . . . .	73
5.5	Betriebszustand „Außer Betrieb“ . . . . .	56	7.2	NBA-Lifecycle-Tool . . . . .	75
5.6	Betriebszustand „Bau und Erhaltung“ . . . . .	56	7.3	SBA-Lifecycle-Tool . . . . .	76
5.6.1	Nutzeneinschränkungen in der Bauphase . . . . .	56	7.4	TSF-Lifecycle-Tool . . . . .	76
5.6.2	Nutzeneinschränkungen in der Rückbauphase . . . . .	57	7.5	ZFR-Lifecycle-Tool . . . . .	76
5.6.3	Berücksichtigung von Verlagerungen . . . . .	57	<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	76
5.7	Ableitung des Nutzens für die Lebensphase „Betrieb“ . . . . .	57	<b>9</b>	<b>Ausblick und weiterer Forschungsbedarf</b> . . . . .	79
5.8	Ableitung des Nutzens für die Lebensphasen „Bau“ und „Rückbau“ . . . . .	58	<b>10</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	82
5.9	Ableitung des Gesamtnutzens über alle Lebensphasen . . . . .	58			
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung</b> . . . . .	58		<b>Anlagen</b>	
6.1	Ergebnisse zur Lebensdauer . . . . .	58		Anlage 1: Erhebungsbogen	
6.1.1	Ergebnisse der Erhebung . . . . .	58		Anlage 2: Eingangsdaten für die Nutzenberechnung	
6.1.2	Lebensdauer einzelner Komponenten . . . . .	59		Anlage 3: Generelles zur Beschreibung des VBA-Lifecycle-Tools	
6.1.3	Betrachtungen zur Lebensdauer . . . . .	61		Anlage 4: Beschreibung des NBA-Lifecycle-Tools	
6.1.4	Restwertbetrachtung . . . . .	62		Anlage 5: Beschreibung des SBA-Lifecycle-Tools	
6.1.5	Fazit . . . . .	63		Anlage 6: Beschreibung des TSF-Lifecycle-Tools	
				Anlage 7: Beschreibung des ZFR-Lifecycle-Tools	
				Diese Anlagen zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <a href="http://bast.opus.hbz-nrw.de">http://bast.opus.hbz-nrw.de</a> abrufbar	



## Abkürzungen

AN	Auftragnehmer	RAS-W	Richtlinien zur Anlage von Straßen, Teil Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
AQ	Anzeigequerschnitt	RE -	Richtlinien für die einheitliche Gestaltung von Entwurfsunterlagen im Straßenbau
ARS	Allgemeines Rundschreiben Straßenbau	RtgWB	Richtungswechselbetrieb
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	RWVA	Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen an Bundesfernstraßen
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	SBA	Streckenbeeinflussungsanlage
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen	SM-Modul	Steuermodul (einer SSt)
BVWP	Bundesverkehrswegeplan	SSt	Streckenstation
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid	SV	Schwerverkehr
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke	UDE	Umfelddatenerfassungseinrichtung
dWiSta	dynamischer Wegweiser mit integrierter Stauinformation	TSF	Temporäre Seitenstreifenfreigabe
ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen	TUM	Technische Universität München
EWS	Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen	VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
FG	Funktionsgruppe (in einer SSt)	VDE	Verkehrsdatenerfassungseinrichtung
FGSV	Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen	vFSZ	variable Fahrstreifenzuteilung
FS	Fahrstreifen	VZB	Verkehrszeichenbrücke
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs	WVZ	Wechselverkehrszeichen
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen	WWW	Wechselwegweisungsanlage
HFB	Hauptfahrbahn	ZFR	Zuflussregelungsanlage
KBA	Knotenbeeinflussungsanlage		
MQ	Messquerschnitt		
NBA	Netzbeeinflussungsanlage		
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse		
NKV	Nutzen/Kosten-Verhältnis		
NO <sub>x</sub>	Summe aller Stickstoffoxide		
PM <sub>10</sub>	Feinstaub (Masse aller im Gesamtstaub enthaltenen Partikel deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 µm ist)		
QBA	punktuell querschnittsbezogen wirksame Anlagen		

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Bereits seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts werden Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) eingesetzt, mit dem Ziel den Verkehrsablauf harmonischer und sicherer zu gestalten. Daher wurden in der Vergangenheit vor allem die „Verbesserung der Verkehrssicherheit“ und die „Reisezeitersparnis“ als potenzielle Nutzenkomponenten berücksichtigt und deren Potenzial durch zahlreiche Untersuchungen einzelner Anlagen quantifiziert (SIEGENER et al. 2000, ARNOLD 2001, PISCHNER et al. 2003, SCHICK 2003, WALTHER et al. 2006, FELDGES und TRAPP 2009, BUSCH et al. 2009, u. a.).

Vor Bereitstellung der Mittel zur Umsetzung einer Anlage wird von der betreffenden Länderbehörde dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) ein RE-Entwurf vorgelegt, in dem die Notwendigkeit der Anlage dargelegt und ihre Wirksamkeit nachgewiesen wird. Bisher wurden i. d. R. alle diesbezüglichen Bewertungsverfahren in der Art durchgeführt, dass die zu erwartenden, monetarisierten Nutzen der Anlage (= Summe der jährlichen Nutzen aller Nutzenkomponenten) durch die Kosten der Anlage (= Investitionskosten der Anlage über einen Abschreibungszeitraum von i. d. R. zehn Jahren als Jahreskosten plus ein pauschalisierter Prozentsatz für die laufenden Kosten) dividiert wurden. Über das so ermittelte Nutzen-/Kosten-Verhältnis wurde die Bauwürdigkeit gesamtwirtschaftlich beurteilt.

Um verschiedene Anlagen in ihrer Wirksamkeit vergleichen und eventuell ihre Realisierung bei gegebener Wirtschaftlichkeit priorisieren zu können, wurden Vorgaben im Rahmen von Muster-RE-Entwürfen für Verkehrsbeeinflussungsanlagen erstellt und eingeführt. Im Rahmen der Nutzen-/Kostenbetrachtung blieb bislang ein großer Teil der laufenden Kosten einer Anlage ebenso unberücksichtigt wie die Tatsache, dass die Anlagen i. d. R. mehr als 10 Jahre in Betrieb sind. Hinweise in diese Richtung gibt auch die Untersuchung (HOLZMÜLLER 1993) zur Kostenstruktur von VBA.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, aufzuzeigen, wie sich Nutzen-/Kosten-Verhältnisse präzisieren las-

sen, wenn der gesamte Lebenszyklus einer VBA betrachtet wird. Hierzu ist der Lebenszyklus in sinnvolle Abschnitte (Lebensphasen) von VBA zu unterteilen, die zum einen nicht zu kurz sein, und zum anderen relativ gleichmäßige Aufwände und Nutzen über ihre Dauer aufweisen sollen.

In diesem Kontext ist auch zu ermitteln, ob und ggf. welche in bisherigen Untersuchungen nicht berücksichtigten weiteren Nutzen- und Kostenkomponenten bei der Erstellung eines lebensphasen-übergreifenden Bewertungsverfahrens beachtet werden sollten.

## 2 Literaturrecherche

Die nachfolgende Literaturrecherche hat zum Ziel, die wesentlichen Untersuchungen, die sich mit dem Thema Verkehrsbeeinflussung, Bewertungsverfahren und Kosten-/Nutzenermittlung beschäftigt haben, zu sichten und ihre Verwertbarkeit für die Thematik des gegenständlichen Forschungsvorhabens zu prüfen.

Die Ergebnisse der Recherche werden in die folgenden Bereiche gegliedert:

- „Maßgebende Untersuchungen“,
- „Spezielle Bewertungsverfahren“,
- „Sonstige Untersuchungen“.

### 2.1 Maßgebende Untersuchungen

#### 2.1.1 Muster-RE-Entwurf für Verkehrsbeeinflussungsanlagen

##### Allgemeines

Anfang der 90er Jahre wurde ein einheitlicher Muster-RE-Entwurf für VBA erstellt und durch das damalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) verbindlich eingeführt (BMVBW 1993). Einer der wichtigsten Gründe für die Anordnung, den Muster-RE-Entwurf zu verwenden, war auch die damit verbundene Festlegung, wie die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage zu ermitteln ist. Auf diese Art sollte eine vergleichende Bewertung der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Anlagen ermöglicht werden.

Der Muster-RE-Entwurf für VBA gibt vor allem eine Gliederung vor, in welcher Weise ein RE-Entwurf

strukturiert werden soll, enthält eine Vielzahl von Musterformblättern und gibt Mustertexte vor. Er legt fest, welche Anlagen anzufertigen und beizulegen sind und bestimmt den anzustrebenden Detaillierungsgrad des RE-Entwurfs. U. a. werden auch die wesentlichen Nutzenkriterien für die einzelnen VBA-Typen vorgegeben: „Erhöhung der Verkehrssicherheit“ und „Minimierung der Gesamtreisezeiten“ bei NBA, „Erhöhung der Verkehrssicherheit“ bei SBA und „Minimierung der Gesamtreisezeiten“ bei KBA.

### Bewertungsverfahren

In Kapitel 5 dieses Muster-RE-Entwurf für VBA wird über die vorstehend genannten Nutzenkriterien hinaus ein Beispiel für die Abhandlung der Wirtschaftlichkeitsabschätzung durch eine exemplarische Darstellung der Nutzenberechnung für eine NBA, eine SBA und eine KBA gegeben. Dabei wird der Nutzen mit sehr vereinfachten Verfahren abgeschätzt. Es wird mit einem Abschreibungszeitraum von 10 Jahren und einem Zinssatz von 3 % pro Jahr mit Hinweis auf die Richtlinie zur Anlage von Straßen, Teil Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (RAS-W) gerechnet.

### Fazit

Eine Lebenszyklusbetrachtung erfolgt nicht. Aufgrund der zwischenzeitlich erfolgten Überarbeitung des Muster-RE-Entwurfs ist diese Untersuchung nicht mehr von Relevanz für das gegenständliche Forschungsvorhaben.

## 2.1.2 Kostenstruktur von Verkehrsleitsystemen

### Allgemeines

In der Studie „Kostenstruktur von Verkehrsleitsystemen“ (HOLZMÜLLER 1993) werden als Nutzenkomponenten „Erhöhung der Verkehrssicherheit“, „Verkürzung der Reisezeiten“ und „Verminderung des Kraftstoffverbrauchs“ genannt.

Es wird deutlich gemacht, dass bisher in der Nutzen-Kosten-Betrachtung die mit dem Betrieb der Anlage einhergehenden laufenden Kosten noch wenig Beachtung fanden und lediglich als Pauschale der Investitionskosten abgeschätzt wurden. Die vorgeschlagene Kostenartenrechnung zeigt Tabelle 1.

Parallel wird eine Kostenstellenrechnung für die einzelnen Dienststellen der an dem Betrieb des

1	Investitionskosten
1.1	- Verkehrstechnische Konzeption
1.2	- Ausführungsplanung
1.3	- Grunderwerb
1.4	- Baudurchführung und -überwachung - Erstellung bzw. Anlieferung und Montage der verschiedenen Anlagenelemente (siehe Tabelle 3.4)
1.5	- Fahrzeuge und mobile Geräte, die für Betrieb, Wartung und Instandsetzung notwendig sind 2 Laufende Kosten
2.1	- Personalkosten der Straßenbauverwaltung
	- Routinebetrieb/gerätetechnische Betreuung
	- planmäßige Wartung
	- Störungsbeseitigung/Reparatur
	- verkehrstechnische Betreuung/Softwarepflege
2.2	- Energiekosten
2.3	- Materialkosten (Ersatzteile und Ersatzbeschaffungen)
2.4	- Fahrzeuge und Geräte
2.5	- Fremdleistungen
	- Routinebetrieb/gerätetechnische Betreuung
	- planmäßige Wartung
	- Störungsbeseitigung/Reparatur
	- verkehrstechnische Betreuung/Softwarepflege

Tab. 1: Aufbau einer Kostenartenrechnung für Verkehrsleitsysteme (HOLZMÜLLER 1993)

Verkehrsleitsystems betroffenen Verwaltungen eingeführt.

Es wird empfohlen die einzelnen Komponenten des Verkehrsleitsystems als Kostenträger aufzufassen. Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, auch einzelnen Anlagenkomponenten auf ihre Effizienz hin zu überprüfen.

Anschließend wird an einzelnen Modellanlagen exemplarisch eine Kostenstruktur durchgerechnet. Als Modellanlagen wurden teilweise die im Muster-RE-Entwurf (BMVBW 1993) eingeführten Modellanlagen verwendet.

Nach Untersuchung der Kostenstrukturen von mehreren bestehenden Anlagen kommt HOLZMÜLLER (1993) zu dem Schluss, dass die laufenden Kosten zwei Drittel der gesamten Jahreskosten ausmachen und somit gegenüber den Investitionskosten die entscheidende Kostenkomponente darstellen.

### Fazit

Eine Lebenszyklusbetrachtung erfolgt nicht, allerdings wird festgehalten, dass der Abschreibungszeitraum eine entscheidende Größe auf die Kostenstruktur darstellt und deshalb im Einzelfall besonders berücksichtigt werden muss. Als Abschreibungszeitraum wird die Nutzungsdauer sämtlicher

Elemente eines Verkehrsleitsystems von 15 Jahren vorgeschlagen. Außerdem sollten für eine vollständige Kostenerfassung unbedingt die Kosten für eine verkehrstechnische Betreuung einfließen.

Die Untersuchung gibt wertvolle Anstöße für das gegenständliche Forschungsvorhaben.

### 2.1.3 Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf

#### Allgemeines

Im Rahmen der Untersuchung „Ermittlung und Bewertung der Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf“ (PISCHNER et al. 2003) werden vorrangig die Nutzenkomponenten „Reisezeitgewinne“ und „Emissionsbelastungen“ für Bewertungsverfahren zur Einrichtung von VBA untersucht.

In der Untersuchung stellte sich eine signifikante Verringerung der Häufigkeit von Verkehrszusammenbrüchen in den oberen Belastungsklassen ein (vgl. Tabelle 2). Durch den Einsatz der SBA erfolgte eine Harmonisierungswirkung im mittleren Geschwindigkeitsbereich von 60 bis 80 km/h. Es wurden keine Kapazitätserhöhungen festgestellt. Eine Ausnahme von dieser Regel stellen VBA in nicht ausgelasteten BAB-Abschnitten dar. Die Bewertung der Verkehrszusammenbrüche erfolgt anhand einer Einteilung in Intervalle mit stabilem Verkehr und Stop-and-go-Verkehr ( $v_m = 20$  km/h) mit der Angabe von Wahrscheinlichkeiten zu beiden Zuständen.

Wichtig ist dabei, dass mit Jahresdauerlinien (entweder aus Messstellen oder mittels DTV und k-Werte aus der EWS 1997) gearbeitet wird, anstelle von Tagesganglinien, da letztere die hochbelasteten Stunden des Jahres nicht richtig abbilden.

In der Gesamtbetrachtung aller potenziellen Nutzen haben Veränderungen in der Verkehrssicherheit mit ca. 2/3 den größten Anteil (vgl. Bild 1).

Im Gegensatz zu SIEGENER et al. 2000 (Nutzen allein in höchster Belastungsklasse) wird in der Gesamtbetrachtung (alle Wirkungskomponenten) auch ein relevanter Nutzen bei einer mittleren Belastung ermittelt. Der Ablauf der Bewertung ist in Tabelle 3 dokumentiert.

Kfz/min	Kfz/h	mit SBA	ohne SBA
40-44	2.400-2.640	0,6 %	0,1 %
45-49	2.700-2.940	0,5 %	0,7 %
50-54	3.000-3.240	0,5 %	1,0 %
55-59	3.300-3.540	0,9 %	1,8 %
60-64	3.600-3.840	1,2 %	3,5 %
65-69	3.900-4.140	1,3 %	4,5 %
70-74	4.200-4.440	2,0 %	5,9 %
75-79	4.500-4.740	3,5 %	6,5 %
80-84	4.800-5.040	5,3 %	5,5 %
85-89	5.100-5.340	4,3 %	2,7 %
90-94	5.400-5.640	-	-
95-99	5.700-5.940	-	-

Tab. 2: Gemittelte Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten für die beeinflussten und die nicht beeinflussten Querschnitte (PISCHNER 2003)

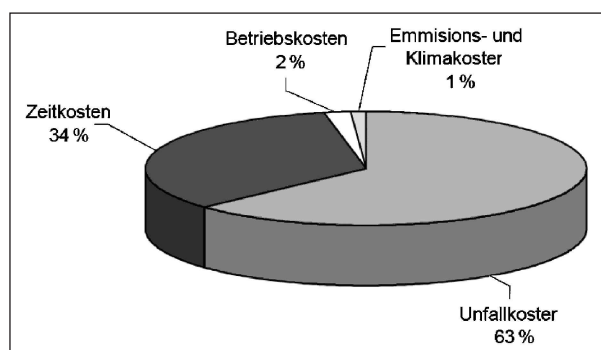


Bild 1: Anteil aller Wirkungskomponenten am Gesamtnutzen von SBA (PISCHNER 2003)

#### Fazit

Die Ermittlung der Zusammenbruchswahrscheinlichkeiten als Basis für die Berechnung der Nutzenkomponenten außer der Verkehrssicherheit bildet den Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) zutreffender ab, als dies bis dahin über die EWS-Bewertung möglich war. Dafür wird ein Bewertungsverfahren vorgeschlagen. Eine Kapazitätserhöhung kann aber mit SBA nicht erreicht werden. Es wurde auch deutlich, dass die bisher nicht im RE-Entwurf berücksichtigten Nutzenkomponenten (laufende Kosten während des Betriebs, Emissions- und Klimakosten) nur einen sehr geringen Anteil (< 3 %) an den Gesamtnutzen darstellen. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, dass der in den letzten Jahren stetige Rückgang der Unfallkosten (weniger Unfälle, geringere Unfallschwere) zu einem veränderten Ergebnis und damit zu einem höheren Anteil der bisher vernachlässigten Komponenten führen könnte.

	Arbeitsschritt	Erforderliche Größen/Berechnungsgrundlagen
1.	Zusammenstellung/Ermittlung der Eingangsgrößen	DTV, Lkw-Anteil, Abschnittslängen, Anzahl Fahrstreifen, Längsneigung
2.	Auswertung/Ermittlung der Dauerlinien	Dauerlinien von Streckenabschnitten gemäß Empirie/k-Faktoren der EWS
3.	Ermittlung der Geschwindigkeiten	Geschwindigkeitsfunktionen der EWS in Abhängigkeit des Straßentyps (nach Tabellen 6 und 7 der EWS)
4.	Verwendung/Ermittlung der Zusammenbruchwahrscheinlichkeiten	Werte gemäß Tabelle 6-7/Empirische Berechnungen
5.	Ermittlung der Wirkungen Fahrzeit, Betriebskosten, Schadstoff- und Klimabelastung	Berechnungsansätze mit Werten der EWS
6.	Ermittlung der Wirkung aus Unfallvermeidung	Berechnungsansatz nach Forschungsbericht „Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung“
7.	Monetarisierung der Wirkungskomponenten	Ergebnisse aus 5. und 6. Kostensätze der EWS

Tab. 3: Erforderliche Arbeitsschritte zur Anwendung des Bewertungsverfahrens (PISCHNER 2003)

### 2.1.4 Hinweise zur Wirksamkeitsabschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen

#### Allgemeines

Die Hinweise zur Wirksamkeitsabschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (FGSV 2007) sind ein als „W1“ klassifiziertes Wissensdokument der FGSV und beinhalten Verfahren zur Abschätzung (ex ante) bzw. zur Berechnung (ex post) der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA). Darin werden VBA wie folgt unterschieden:

- Netzbeeinflussungsanlagen (NBA),
  - Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta),
  - Wechselwegweisung (WWW).
- Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA),
  - Mit Seitenstreifenfreigabe,
  - Ohne Seitenstreifenfreigabe,
- Knotenbeeinflussungsanlagen (KBA),
  - Variable Fahrstreifenzuteilung,
  - Zuflussregelung,
- Punktuell querschnittsbezogen wirksame Anlagen (Geschwindigkeitswarnanlage).

#### Bewertungsverfahren

Ausgehend von der mit VBA angestrebten Optimierung des Verkehrsablaufs werden die damit ver-

bundenen Ziele „Verbesserung der Verkehrssicherheit“ und „Verbesserung der Verkehrsqualität“ im Rahmen der dargestellten Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse betrachtet und über die Indikatoren „Unfallkosten“ und „Zeitkosten“ quantifiziert.

Hinsichtlich der NBA wird zusätzlich der Indikator „Fahrzeugbetriebskosten“ berücksichtigt, für Untersuchungen anderer VBA werden diese nicht herangezogen bzw. als vernachlässigbar erachtet.

Über Differenzbetrachtungen eines Vergleichsfalls (ohne VBA) mit dem jeweiligen Planfall (mit VBA) wird der sich aus den genannten Indikatoren ergebende Nutzen ermittelt. Dabei wird die erzielbare Einsparung bzgl. der Reisezeiten, der Unfälle und der Fahrleistungen zunächst in den originären Größen dargestellt.

Insgesamt wird in den Verfahren berücksichtigt, dass VBA durch eine Harmonisierung des Verkehrsflusses zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit und einer Reduzierung der Störungen des Verkehrsflusses beitragen.

Während für die ex-post-Analysen einheitliche Verfahren für alle VBA-Typen zur Wirkungsermittlung vorliegen, ergibt sich für die ex-ante-Verfahren ein uneinheitliches Bild, da hier unterschiedliche Ansätze zum Einsatz kommen bzw. nicht für alle Indikatoren und VBA-Typen Verfahren entwickelt wurden. In Tabelle 4 sind die ex-ante-Verfahren aufgeführt, wobei die Darstellung für NBA um den Indikator „Fahrzeugbetriebskosten“ zu ergänzen ist.

Die über die berücksichtigten Indikatoren erfassten Wirkungen von VBA werden mittels üblicher Kos-

	Anlagentyp	Verkehrssicherheit	Verkehrsfluss
NBA	WWW/dWiSta	kein Verfahren verfügbar	Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) – Zeitkosten, Kapitel 4.3.2
SBA	ohne Seitenstreifenfreigabe	Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) ohne Seitenstreifenfreigabe – Unfallkosten, Kapitel 4.3.3	Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) ohne Seitenstreifenfreigabe – Unfallkosten, Kapitel 4.3.4
KBA	variable Fahrstreifenzuteilung	kein Verfahren verfügbar	Knotenbeeinflussungsanlagen (KBA) – Zeitkosten, Kapitel 4.3.5
	Zulassungsregelungsanlagen	kein Verfahren verfügbar	kein Verfahren verfügbar
QBA	Geschwindigkeitswarnanlagen	siehe: Hinweise für Planung und Einsatz von Geschwindigkeitswarnanlagen (FGSV, 2001)	

Tab. 4: Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung von VBA (ex ante) (FGSV 2007)

tensätze monetarisiert. Dabei wird das in den originären Größen ermittelte Einsparungspotenzial bzgl. der Reisezeiten, der Unfälle und der Fahrleistungen mit Kostensätzen der EWS (1997) bewertet. Diese monetarisierten Wirkungen stellen den Nutzen der VBA dar. Die gewählte Methodik zur Ermittlung des Nutzens erlaubt ihre Einbindung in das Bewertungsverfahren nach EWS (1997).

Das Hinweispapier beschränkt sich auf die Darstellung von Verfahren zur Nutzenermittlung, es werden keine Aussagen zur Ermittlung der Kosten von VBA gemacht.

Insgesamt basieren die entwickelten Verfahren zur Nutzenermittlung auf verschiedenen vorangegangenen Untersuchungen (PISCHNER et al. (2003), SIEGENER (2000) u. a.). Auf eine detaillierte Darstellung dieser Studien wird zugunsten der Erläuterung der Verfahren des Hinweispapiers verzichtet, da das Hinweispapier eine komprimierte Zusammenfassung der Studien enthält.

### Wirkungsermittlung

Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung von VBA (ex ante)

- Allgemeines

Grundsätzlich wird im Rahmen aller ex-ante-Verfahren jeweils ein Vergleichsfall (keine VBA implementiert) mit einem Planfall (VBA implementiert) verglichen, um die Wirkung der VBA quantifizieren zu können. Über Differenzbildung der Wirkungen werden aus der Umsetzung der jeweiligen VBA resultierende Reisezeitersparnisse, Fahrleistungs- bzw. Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten (nur NBA) und Verbesserungen der Verkehrssicherheit ermittelt.

- Reisezeiten und Fahrleistungen in NBA

Zur Darstellung des Verkehrszustands im Vergleichsfall wird auf DTV-bezogene makroskopische Verkehrsmodelle (z. B. Modell des BVWP), Tagesganglinien für jeweils zu unterscheidende Tagestypen (Bezugsquellen werden nicht genannt) und – falls vorhanden – stundenfeine Zählwerte (für Normalwerktag eines dreimonatigen Zeitraums, für Sonn- und Feiertage einer ausreichenden Stichprobe) zurückgegriffen. Mit ihrer Hilfe werden zunächst stundenbezogene OD-Matrizen für das Verkehrsmodell erstellt. Damit werden für repräsentative stundenbezogene Verkehrsszenarien (z. B. Normalwerktag Morgenspitze oder Feiertag Mittagsspitze etc.) jeweils für die von Störungen betroffene Route sowie für mögliche Alternativrouten stundenbezogene Verkehrsstärken bestimmt. Die Zählwerte dienen in erster Linie zur Kalibrierung des Modells. Mittels analytischer Methoden nach ZACKOR (2001) werden zugehörige Geschwindigkeiten abgeleitet.

Durch Auswertung von realen Störfalldaten der analysierten Route werden im Weiteren Störfallszenarien inkl. Häufigkeiten (Anzahl Störfälle pro Jahr) den Verkehrssituationen zugeordnet. Unter Berücksichtigung von Steuerungsstrategien und tabellierten Befolgungsraten werden für die vom Störfall betroffene Route sowie die Alternativrouten Verkehrsstärken für den Planfall errechnet. Bei der Ermittlung der Wirkungen des Planfalls wird demzufolge auf den Einsatz eines Verkehrsmodells verzichtet, die Kenngrößen werden direkt aus den verkehrlichen Daten des Vergleichsfalls und Annahmen zu Verlagerungspotenzialen abgeleitet. Die Geschwindigkeiten des Planfalls werden wiederum mittels analytischer Methoden bestimmt.

Die ermittelten Geschwindigkeiten des Vergleichs- und Planfalls werden zusammen mit Längenangaben der analysierten Routen zur Berechnung von Reisezeiten herangezogen, während Fahrleistungen aus den Verkehrsstärken und Längenangaben der Routen bestimmt werden. Aus der Analyse der Störfalldaten bezüglich ihrer Häufigkeit werden Hochrechnungen der Reisezeiten und Fahrleistungen auf ein Jahr vorgenommen.

- Unfälle in NBA

Zur Quantifizierung des Unfallgeschehens wird kein Verfahren vorgestellt.

- Staubbedingte Reisezeiten in SBA ohne Seitenstreifenfreigabe

Über historische Staudaten eines Jahres zur jeweiligen Dauer der beobachteten Staus auf der analysierten Strecke und mit tabellierten Restkapazitäten nach dem HBS (2009) wird die Gesamtanzahl der im Vergleichsfall pro Jahr betroffenen Fahrzeuge bestimmt. Des Weiteren wird über die Länge der beobachteten Staus und mit Annahmen zur mittleren Geschwindigkeit innerhalb der Staus nach BREITENSTEIN et al. (1980) die aus dem Stau resultierende mittlere Reisezeit pro betroffenem Fahrzeug im Vergleichsfall bestimmt. Diese beiden abgeleiteten Größen erlauben wiederum die Berechnung der staubedingten Gesamtreisezeiten aller Fahrzeuge eines Jahres für den Vergleichsfall.

Nach PISCHNER et al. (2003) ergibt sich für den Planfall eine Reduktion dieser staubedingten Gesamtreisezeit um 5 %.

- Unfallbedingte Reisezeiten in SBA ohne Seitenstreifenfreigabe

Die Vorgehensweise ähnelt der Methodik zur Berechnung der staubedingten Reisezeiten. Die Restkapazität der Strecke im Falle eines Unfalls und die Dauer der Sperrung je Unfall werden allerdings nicht aus historischen Daten der Strecke bzw. nach HBS (2009), sondern basierend auf im Hinweispapier tabellierter Werte abgeschätzt.

Für den Planfall wird angenommen, dass die unfallbedingten Reisezeiten durch eine SBA um 30 % reduziert werden können. Eine Quelle, auf der diese Annahme basiert, wird nicht genannt.

- Unfälle in SBA ohne Seitenstreifenfreigabe

Zur Durchführung der Analyse werden detaillierte Unfalldaten der vergangenen 3 Jahre sowie Daten zum DTV (Quelle nicht spezifiziert, Dauerzählstellen oder Verkehrsmodelle möglich) der jeweiligen Strecken inkl. deren Länge benötigt. Über diese Daten wird die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden des Vergleichsfalls ermittelt. Des Weiteren werden die Anzahl der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden und die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden bei Nebel aus den Unfalldaten für den Vergleichsfall aus den erhobenen Unfalldaten errechnet. Die drei derart ermittelten Kenngrößen werden abschließend jeweils auf ein Jahr normiert.

Über Erkenntnisse von SIEGENER (2000) hinsichtlich der mit SBA im Mittel erreichbaren Unfallrate für Unfälle mit Personenschaden sowie der durchschnittlichen Reduzierung der Anzahl von Unfällen mit schwerwiegendem Sachschaden und Unfällen mit Personenschaden während Nebelereignissen wird die Unfallsituation für den Planfall abgeschätzt.

- Reisezeiten in SBA mit Seitenstreifenfreigabe

Zur Quantifizierung der Reisezeiten wird kein Verfahren vorgestellt.

- Unfälle in SBA mit Seitenstreifenfreigabe

Zur Quantifizierung des Unfallgeschehens wird kein Verfahren vorgestellt.

- Reisezeiten in KBA (variable Fahrstreifen-zuteilung)

Über zu erhebende historische q-v-Daten (15-min-Werte) eines mindestens dreimonatigen Beobachtungszeitraums bzw. eine angegebene Umrechnungsformel und Daten des HBS (2009) werden Kapazitäten für die Hauptfahrbahn und die Rampe des Knotenpunktes für den Vergleichs- bzw. Planfall bestimmt. Die q-v-Daten dienen des Weiteren zur Definition repräsentativer Verkehrsbelastungsfälle und ihrer jährlichen Häufigkeit. Zusammen mit Annahmen zur Fahrtgeschwindigkeit unter- und oberhalb der jeweiligen Kapazitätsgrenze ( $v_R = 80$  km/h bzw.  $v_R = 30$  km/h) und Längenangaben der Rampe, der Hauptfahrbahn und des Einfahrbereiches werden daraus für jeden Verkehrsbelastungsfall in 15-min-Intervallen Reisezeiten für den Vergleichs- und Planfall berechnet. Durch Hochrechnung dieser

Reisezeiten anhand der ermittelten jährlichen Häufigkeiten der Verkehrsbelastungsfälle werden die Reisezeiten pro Jahr bestimmt.

- Unfälle in KBA (variable Fahrstreifen-zuteilung)

Zur Quantifizierung des Unfallgeschehens wird kein Verfahren vorgestellt.

### Lebenszyklusbetrachtung

Obschon im Hinweispapier auf unterschiedliche Phasen innerhalb des Lebenszyklus von VBA eingegangen wird, beinhalten die entwickelten Verfahren ausschließlich eine Bewertung der Phase „Betrieb“.

### Fazit

Die hier vorgestellten Bewertungsverfahren zur ex-ante-Analyse sind für die meisten VBA schlüssig und verwertbar und sollen für die Lebenszyklusbetrachtung verwendet werden.

### 2.1.5 Überarbeitung des Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen

#### Allgemeines

Die in den „Hinweisen zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ (FGSV 2007) bereit gestellten vereinfachten Berechnungsverfahren für die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit einer geplanten Anlage, wurden in die Überarbeitung des Muster-RE-Entwurfs (FELDGES und TRAPP, 2009) aufgenommen. In dieser Überarbeitung wurde die Anwendung des Muster-RE-Entwurfs für VBA stark schematisiert und formalisiert.

Unterteilt in die Anlagentypen NBA, SBA, TSF, ZRA und FSZ wurden zahlreiche Formblätter entwickelt, die meisten als Excel-Tabellen zum Berechnen und Ausweisen der Kosten und der Nutzen der geplanten Anlage.

### Fazit

Die hier verwendeten Bewertungsverfahren zur ex-ante-Analyse werden für die Lebenszyklusbetrachtung verwendet. Ebenso werden die in dieser Untersuchung zugrunde liegenden Kosten für die einzelnen Baugruppen der VBA als Basiskosten in der gegenständlichen Untersuchung übernommen.

### 2.1.6 Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts „Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“

#### Allgemeines

Das Forschungsprojekt „Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts ‚Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen‘“ (BUSCH et al. 2009) beinhaltet im Wesentlichen die Erarbeitung von bislang im FGSV-Hinweispapier (FGSV 2007) fehlenden Verfahren zur ex-ante-Analyse von VBA. Darüber hinaus werden alle Verfahren in Excel-Arbeitsblättern umgesetzt, beispielhaft angewendet, hinsichtlich der Anwendbarkeit analysiert und einer Fehlermöglichkeitseinflussanalyse (FMEA) unterzogen. Basierend auf der FMEA, mit deren Hilfe der Einfluss der Eingangsgrößen der Verfahren auf das Ergebnis untersucht werden kann, und der Anwendbarkeitsanalyse werden abschließend Hinweise zur Umformulierung des FGSV-Hinweis-papiers (FGSV 2007) gegeben.

#### Bewertungsverfahren

- Allgemeines

Die Festlegungen bzgl. des Bewertungsverfahrens hinsichtlich Zielen, Indikatoren und Wertsyntheseverfahren werden aus dem Hinweispapier der FGSV übernommen.

#### Wirkungsermittlung

- Unfälle in NBA

Die Wirkungsermittlung basiert darauf, dass die Unfallkostenrate (UKR) von der stündlichen Verkehrsstärke abhängt und nicht konstant für den gesamten Verkehrsstärkebereich ist. Durch Ermittlung der relevanten stündlichen Verkehrsstärke (DTV und Tagesganglinien aus Daten der Dauerzählstellen) für die von Störungen betroffene Strecke und Alternativrouten für die Zeiträume, in denen die zu analysierende NBA aktiviert würde, können in Kombination mit angegebenen Funktionsverläufen der UKR Unfallkosten für den Vergleichs- und Planfall ermittelt werden. Diese werden unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Anzahl der Störungen pro Jahr und deren Dauer auf Jahreswerte hochgerechnet.

- Unfälle (variable Fahrstreifen-zuteilung und Zuflussregelung)

Bei dem Verfahren werden aus Unfalldaten vergangener Jahre am jeweils analysierten Knotenpunkt



für die potenziellen Schaltzeiträume der KBA die Unfälle gefiltert, die durch die KBA adressiert werden – also möglicherweise hätten vermieden werden können, wenn eine KBA installiert gewesen wäre. Diese Unfälle zeichnen sich durch bestimmte Unfalltypen, Unfallarten und Unfallursachen aus und stellen das Wirksamkeitspotenzial der Anlage in Bezug auf die Verkehrssicherheit dar. Sie werden auf Jahreswerte normiert.

- Zeitkosten (Zuflussregelung)

Basierend auf erhobenen Daten (nach Möglichkeit drei Monate) zur Verkehrsstärke und Geschwindigkeit (nach Möglichkeit 1-min-Intervalle) am jeweiligen Knotenpunkt werden – für diejenigen Zeiträume, in denen eine mögliche KBA aktiv wäre – Reisezeiten für den Vergleichsfall ermittelt. Dabei werden die Reisezeiten auf der Hauptfahrbahn (HFB) und der Rampe berücksichtigt. Für den Planfall werden ebenfalls Reisezeiten bestimmt. Neben den Reisezeiten auf der HFB und der Rampe, für deren Minderung im Vergleich zum Vergleichsfall Werte aus vorliegenden Studien herangezogen werden, wird auch die Wartezeit an der LSA der Rampe in die Betrachtung mit einbezogen. Die Wartezeit an der LSA setzt sich aus einem Anteil, der durch die Sperrzeit der LSA bestimmt wird und einem Anteil, der sich aus der Warteschlange an der LSA ergibt, zusammen.

Die Reisezeiten werden für den Vergleichs- und Planfall jeweils auf ein Jahr hochgerechnet. Dazu werden Annahmen zur Häufigkeit der Störungen pro Jahr sowie ihrer durchschnittlichen Dauer getroffen.

### **Lebenszyklusbetrachtung**

Die entwickelten Verfahren erlauben ausschließlich eine Bewertung der VBA in deren Betriebsphase.

### **Fazit**

Die hier entwickelten Bewertungsverfahren zur ex-ante-Analyse – insbesondere die Excel-Tools zur Berechnung der Nutzen während der Betriebsphase einer Anlage – werden für die Lebenszyklusbetrachtung verwendet.

## **2.1.7 Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs**

### **Allgemeines**

Das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) stellt wichtige Grundlagen zur Berechnung der straßenverkehrsbedingten Schadstoffbelastungen und Energieverbräuche zur Verfügung.

Es stellt eine Synthese von verschiedenen Forschungsprojekten und Messreihen dar und wird periodisch anhand neuer Forschungsergebnisse aktualisiert.

Die erste Version des Handbuches für Emissionsfaktoren (HBEFA) wurde im Auftrag der Umweltbundesämter von Deutschland, der Schweiz und Österreich erarbeitet und Dezember 1995 veröffentlicht. Inzwischen wird HBEFA von weiteren Ländern (Schweden, Norwegen, Frankreich) wie auch von JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission) unterstützt.

### **Wirkungsermittlung**

Zwischen Version 2.1 und der derzeit aktuellen Version 3.1 wurde durch die Neudefinition der Verkehrssituationen eine grundlegende Überarbeitung und Neuberechnung der Emissionsfaktoren durchgeführt. Darüber hinaus werden in der aktuellen Version neue Fahrzeugtechnologien berücksichtigt. Hierfür wurden eine Reihe neuer Ansätze und Modelle entwickelt, mit denen die Datenbasis erheblich erweitert und verbessert wurde.

In der derzeit aktuellen Version 3.1 (Stand: Januar 2010) liefert das Handbuch Emissionsfaktoren alle reglementierten sowie eine Reihe von nicht-reglementierten Schadstoffen, einschließlich CO<sub>2</sub> und Kraftstoffverbrauch. Diese sind differenziert nach den unterschiedliche Fahrzeugtypen (Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Linien- und Reisebusse sowie Motorräder), Emissionskonzepten (Euro 0 bis Euro VI) sowie nach verschiedenen Verkehrssituationen.

Gleichzeitig ist im Handbuch auch festgelegt, welche Eingangsgrößen für die Ermittlung von Kraftstoffverbräuchen, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Luftschadstoffen zu verwenden sind.

### **Fazit**

Das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) stellt für Deutschland und Europa, die anerkannte-

ste Datengrundlage für die Berechnung von Kraftstoffverbräuchen, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Luftschadstoffen dar. Die Bundesverkehrswegeplanung, die EWS 1997 sowie das TREMOD-Modell des Umweltbundesamtes verwenden für die Berechnung der straßenverkehrsseitigen Emissionen das Handbuch für Emissionsfaktoren.

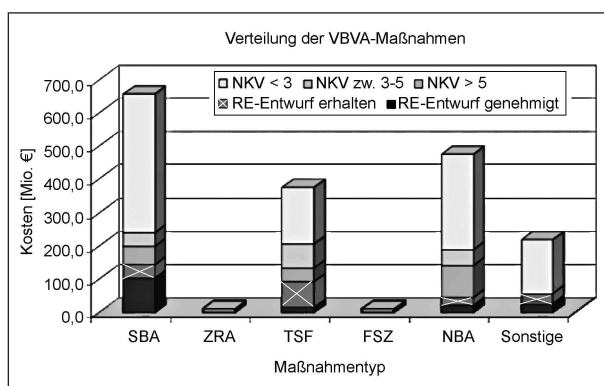
Die Emissionsfaktoren des HBEFA werden zur Berechnung des Nutzens während der Betriebsphase aufgrund Schadstoffreduzierung etc. für die Anlagentypen NBA und SBA zugrunde gelegt.

### 2.1.8 Erstellung eines Projektplans Straßenverkehrstelematik 2009 für den Zeitraum 2009 bis 2015 sowie einer veröffentlichungsreifen und downloadfähigen Fassung des neuen „Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen“

Dieses Forschungsprojekt von LISTL et al. (2012) umfasst einen neuen Projektplan Straßenverkehrstelematik für den Zeitraum 2009 bis 2015. Darin wurden bundesweit 563 Maßnahmen untersucht und bewertet; 295 dieser Maßnahmen versprechen ein hohes Nutzenpotenzial. Bild 2 gibt die Verteilung dieser Maßnahmen mit einem hohen Nutzenpotenzial auf die einzelnen Anlagentypen wieder.

Es handelt sich bei diesen Maßnahmen im Wesentlichen um NBAn, SBAn und TFSn. Die Anzahl der geplanten KBA ist vergleichsweise gering.

Das Forschungsprojekt umfasst weiterhin die veröffentlichungsreife und downloadfähige Fassung des neuen „Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen“. Diesem Muster-RE-Entwurf liegen u. a. die neuesten Versionen der Excel-Tools zur Nutzenberechnung für Verkehrsbeeinflussungsanlagen bei.



**Bild 2:** Verteilung der Investitionskosten nach Anlagentyp (LISTL et al. 2012)

## Fazit

Diese Excel-Tools werden für die Ermittlung des Nutzens während der Betriebsphase herangezogen. Hierzu werden sie in die Lifecycle-Tools integriert.

## 2.2 Spezielle Bewertungsverfahren

### 2.2.1 Untersuchung des verkehrswirtschaftlichen Nutzens einer Baustelle mit Richtungswechselbetrieb (Schiersteiner Brücke)

#### Allgemeines

Während der Fahrbahnerneuerungsarbeiten in den Jahren 1983 bis 1985 auf der Schiersteiner Brücke wurde ein Richtungswechselbetrieb eingerichtet, so dass der mittlere der drei vorhandenen Fahrstreifen in den Spitzenstunden jeweils der Fahrtrichtung zugeschlagen wurde, die den größeren Richtungsüberhang aufwies. Dieser erstmalige Richtungswechselbetrieb auf einer Autobahn wurde von LEUTZBACH und MAIER (1986) wissenschaftlich begleitet und hinsichtlich seiner Wirksamkeit untersucht.

#### Bewertungsverfahren

Es wurde ein ex-post-Bewertungsverfahren angewendet, das jedoch in ähnlicher Form (mit Annahmen bei der Verkehrssicherheit anstelle des tatsächlichen Unfallgeschehens) auch ex ante eingesetzt werden könnte. Als Nutzenkomponenten wurden die

- Verkehrssicherheit,
- Reisezeit und
- Fahrzeugbetriebskosten

verwendet.

Die gewählten Lösungen (Fahrstreifenführung 2+1 mit unterstützender Fahrstreifensignalisierung in 2 Bauphasen und Richtungswechselbetrieb in 2 weiteren Bauphasen) wurden alternativen Bauabwicklungsformen (Fahrstreifenführung 1+1 und Fahrstreifenführung 2+1) gegenübergestellt.

#### Wirkungsermittlung

Die monetäre Bewertung der Nutzenkomponenten erfolgte gemäß der damals gültigen Fassung der

RAS-W. In den beiden Vergleichen zwischen Richtungswechselbetrieb und den alternativ infrage kommenden Bauabwicklungsformen ergaben sich Nutzen/Kosten-Verhältnisse von 6,5 und 3,2.

### Fazit

Das Verfahren könnte auch ex ante mit den Nutzenkomponenten

- Verkehrssicherheit,
- Reisezeit und
- Fahrzeugbetriebskosten

verwendet werden. Hierzu wäre festzulegen, mit welchen monetären Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit zu rechnen ist. Trotzdem wird im Weiteren nicht näher auf dieses Verfahren eingegangen – insbesondere weil der Anlagentyp „Richtungswechselbetrieb“ nicht weiter verfolgt wird.

### 2.2.2 Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung

#### Allgemeines

In der Untersuchung „Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung“ (SIEGENER et al. 2000) wurden Vorher-Nachher-Analysen des Unfallgeschehens im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) auf Bundesautobahnen durchgeführt. Die Analyse beschränkt sich im Wesentlichen auf das Unfallgeschehen mit Personenschaden U(P) sowie auf die Unfalltypen 1, 6 und 7. Für die Analyse wurde nochmals differenziert in 3 verschiedene Belastungsklassen, in denen die Veränderungen der Verkehrssicherheit betrachtet wurden. Ein signifikanter Rückgang der Unfallzahlen konnte nur in der höchsten Belastungsklasse (BL 3) nachgewiesen werden.

Verbesserungspotenzial besteht weiterhin bei Nebel- (-80 %) und Massenunfällen. Für die Unfälle mit ausschließlich Sachschaden U(S) wird ein Reduktionspotenzial von 15 % angegeben.

Als Schlussfolgerung wird von den Autoren die Relevanz der Häufigkeit und Dauer von Schaltzuständen der SBA als relevant für die Wirkung der SAB auf das Unfallgeschehen hervorgehoben.

### Bewertungsverfahren/Wirkungsermittlung

Es werden 3 Bewertungsverfahren für die Prognose der Wirkung auf das Unfallgeschehen geprüft:

- Abschätzung Wirkung nur in BL 3 (UR(P) = 11 bzw. 8,5 U/10<sup>8</sup> Fzkm; 2/2-3 bzw. 3 FS pro FR) & -80 % der Nebelunfälle in allen BL,
- Abschätzung Wirkung in allen Belastungsklassen (UR(P) = 12 bzw. 12,5 U/10<sup>8</sup> Fzkm; 2/2-3 bzw. 3 FS pro FR, nur Unfalltypen 1,6,7) & -80 % der Nebelunfälle in allen BL,
- genereller Rückgang des Unfallgeschehen U(P) um 30 %.

Die ersten beiden Verfahren schneiden am besten ab (ähnlich gut), es wird aber das zweite Verfahren aus praktischen Gründen empfohlen, da keine Differenzierung über die Belastungsklassen vorgenommen werden muss.

### Fazit

Die Untersuchung hat Ende der 90er Jahre stattgefunden. Sie bildet zum Teil die Grundlage für das Wissensdokument (FGSV, 2007).

Durch die in der Zwischenzeit erfolgte Verringerung des generellen, deutschlandweiten Unfallniveaus könnten sich Auswirkungen auf die in der Untersuchung angesetzten Unfallkennzahlen ergeben. Eine Quantifizierung ist jedoch nicht möglich, da im Einzelnen nicht bekannt ist, welchen Einfluss dieser Trend auf die durch VBAn beeinflussbaren Unfallkennzahlen hat.

### 2.2.3 Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs

#### Allgemeines

Die Untersuchung „Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs“ (ARNOLD 2001) enthält die Beschreibung zu Bewertungsverfahren (NKV) für unterschiedliche Arten der Nutzung des Seitenstreifens<sup>1</sup>. Folgende Betriebsformen wurden berücksichtigt:

<sup>1</sup> Entgegen der in der Literaturquelle benutzten Bezeichnung „Standstreifen“ wird hier im Folgenden der inzwischen gebräuchliche Begriff „Seitenstreifen“ verwendet.

- zeitliche unbegrenzte Freigabe Seitenstreifen inkl. Einrichtung Nothaltebuchten,
- zeitliche unbegrenzte Freigabe Seitenstreifen inkl. Einrichtung Nothaltestreifen,
- zeitliche begrenzte Freigabe Seitenstreifen inkl. Einrichtung Nothaltebuchten,
- zeitliche begrenzte Freigabe Seitenstreifen inkl. Einrichtung Nothaltebuchten mit permanenter Überprüfung der Verfügbarkeit des Seitenstreifens für den fließenden Verkehr,
- keine Freigabe des Seitenstreifens, stattdessen Nutzung einer VBA zur Kapazitätserhöhung (Annahme: 7 %),
- zeitliche begrenzte Freigabe Seitenstreifen inkl. Einrichtung Nothaltebuchten mit permanenter Überprüfung der Verfügbarkeit des Seitenstreifens für den fließenden Verkehr bei gleichzeitigem Betrieb einer VBA.

Es erfolgt eine differenzierte Betrachtung der verschiedenen Bauteilgruppen für die Umsetzungsformen der Seitenstreifenfreigabe. Die verschiedenen Nutzungszeiträume der Bauteilgruppen werden auf eine mittlere Nutzungsdauer normiert, um eine gemeinsame Betrachtung zu ermöglichen. Ebenfalls werden längere Nutzungszeiträume von Bauteilen berücksichtigt, welche auch nach der Seitenstreifenumnutzung weiterhin genutzt werden können.

Nutzenkomponenten sind Veränderungen in

- Reisezeit,
- Verkehrssicherheit,
- Kraftstoffverbrauch,
- Schadstoff- und Klimagasemmission.

Als Kostenkomponenten werden die Investitionsaufwände sowie die Kosten für den Unterhalt und den Betrieb verwendet. Die Bewertung erfolgt anhand eines (durchschnittlichen) Jahres in der Mitte des Nutzungszeitraumes.

Es wird davon ausgegangen, dass keine Veränderungen in der Verkehrssicherheit auftreten. Dies beruht auf der Annahme, dass eine Seitenstreifenutzung zur Erhöhung der Unfallanzahl mit Personenschaden führt, diese aber durch entsprechende verkehrstechnische Maßnahmen wieder reduziert wird (Absenkung  $v_{zul}$ , Einrichtung Nothaltebuchten/-streifen). Bei Installation einer VBA soll auf die Werte SIEGENER et al. 2000 zurückgegriffen werden.

## Fazit

Da das Verfahren derzeit das differenzierteste bzgl. der Nutzenermittlung von SBA mit Seitenstreifenfreigabe ist, darüber hinaus durch das ARS 12/2002 eingeführt ist, wird das vorgestellte Verfahren zur Ermittlung der Kosten und Nutzen im Zuge des Lebenszyklus einer TSF verwendet.

Das Verfahren kann für das zu entwickelnde Bewertungsverfahren übernommen werden. Hinsichtlich des Zielsystems und den daraus abgeleiteten Nutzenkomponenten werden alle Anforderungen erfüllt. Die Aktualisierungsanforderungen betreffen insbesondere die Berechnungsmethoden der Nutzen aus der Reduktion der Luftschadstoffemissionen, Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen und Nutzen aus Kraftstoffersparnis und die jeweils verwendeten Kostensätze, da sich das Verfahren hier an den Vorgaben der EWS (1997) orientiert.

Es werden allerdings nur die vom AVP-Programmsystem berechneten Investitionskosten weiter verwendet. Alle anderen Kosten – auch die Betriebskosten – werden mit Hilfe des neuen Lifecycle-Tools berechnet.

### 2.2.4 Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses

#### Allgemeines

Die Dissertation „Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses“ (SCHICK 2003) ist in wesentlichen Teilen inhaltlich deckungsgleich mit der Forschungsarbeit PISCHER et al. 2003 (vgl. Kapitel 2.1.3).

#### Bewertungsverfahren

Die entwickelten Verfahren sind derart konzipiert, dass sie in die Methodik der EWS (1997) integriert werden können. Über eine qualitative Analyse möglicher Wirkungen von SBA wird herausgearbeitet, dass durch Implementierung einer SBA lediglich Änderungen hinsichtlich des EWS-Indikators „Fahrzeiten“ zu erwarten sind. Für diesen Indikator sind Verfahren zur Quantifizierung der Wirkungen erstellt worden.

Durch Monetarisierung der Wirkungsdifferenz zwischen Vergleichs- und Planfall mit Kostensätzen

der EWS (1997) wird der Nutzen der VBA ermittelt. Zur Kostenermittlung werden keine Angaben gemacht.

- Lebenszyklusbetrachtung

Hinsichtlich der unterschiedlichen Phasen im Lebenszyklus einer SBA werden keine Aussagen gemacht. Das entwickelte Verfahren erlaubt nur eine Bewertung von SBA in deren Betriebsphase.

### Fazit

Die hier vorgestellten Bewertungsverfahren zu SBAn sind bereits in dem Wissensdokument (FGSV 2007) umgesetzt.

### 2.2.5 Simulation von Wirkungen ausgewählter Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung einzelner Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen bei einer vorgegebenen Straßeninfrastruktur

#### Allgemeines

Die Untersuchung „Simulation von Wirkungen ausgewählter Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung einzelner Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen bei einer vorgegebenen Straßeninfrastruktur“ (WALTHER et al. 2006) verfolgt das Ziel mittels makroskopischer Verkehrsmodelle nicht-infrastrukturelle Maßnahmen einer Wirkungsermittlung zu unterziehen. Dabei kommt ein PTV-eigenes deutschlandweites Verkehrsmodell zum Einsatz.

Folgenden Maßnahmen werden dabei behandelt:

- Seitenstreifenfreigabe (dynamisch und dauerhaft),
- Verkehrsbeeinflussungsanlagen (Streckenbeeinflussungsanlagen ohne Seitenstreifenfreigabe und Netzbeeinflussungsanlagen),
- Einrichtungsfreigabe (temporäre Nutzung von BAB-Abschnitten in nur eine Fahrtrichtung),
- Telematiksysteme (Systeme individueller Verkehrsbeeinflussung),
- verbessertes Störfallmanagement.

#### Bewertungsverfahren

Im Rahmen der Untersuchung werden die Indikatoren „Verkehrsbeteiligungsdauer“ und „Fahrleistung“

berücksichtigt. Eine abschließende Wertsynthese erfolgt nicht.

### Wirkungsermittlung

Zunächst werden die genannten Maßnahmen erläutert und hinsichtlich ihrer generellen Wirkung beschrieben. Dabei wird auf eine umfangreiche Literaturanalyse zurückgegriffen. Basierend auf den durchgeführten Analysen werden – mit Ausnahme der Netzbeeinflussungsanlagen – alle Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirkungen in ausgewählten Teilmodellen modelliert, um so das Mengengerüst für etwaige Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der Maßnahmen zu erhalten.

Die beispielhafte Wirkungsermittlung erfolgt für das Prognosejahr 2020. Dabei wird das Basisszenario 2020, das im Auftrag des AK „Mobilität“ und der Volkswagen AG erstellt wurde, zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung von Tagesganglinien werden die tagesbezogenen Nachfragematrizen in stundenfeine Matrizen umgewandelt. Die beispielhafte Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen erfolgt abschließend für den Zeitabschnitt zwischen 6:00 Uhr und 7:00 Uhr morgens jeweils für den Vergleichsfall (keine Maßnahme umgesetzt) und den Planfall (Maßnahme umgesetzt).

- Lebenszyklusbetrachtung

Die erarbeiteten Verfahren zur Wirkungsermittlung beziehen sich ausschließlich auf die Betriebsphase der jeweiligen Maßnahme. Lebenszyklusbetrachtungen werden nicht angestellt.

### Fazit

Die Untersuchung könnte verwendet werden, um die Auswirkungen von Verkehrsverlagerungen durch die VBAn abzuschätzen. Verlagerungswirkungen in NBAn sind naturgemäß gewollt und im Verfahren gemäß Wissensdokument (FGSV 2007) enthalten. Innerhalb von SBAn, TSFn oder gar von KBAn werden eventuelle Verlagerungen ausgeschlossen.

Da jedoch bereits sehr früh im Projekt entschieden wurde, hinsichtlich der Nutzenermittlung der VBAn in der Betriebsphase auf die Verfahren nach FGSV (2007), BUSCH et al. (2009) und ARNOLD (2001) aufzusetzen, ist diese Literaturquelle nicht weiter relevant für das vorliegende Forschungsvorhaben.

## 2.2.6 Informationen über Alternativrouten als Grundlage für objektbezogene Bewertungsverfahren im BMS

### Allgemeines

Das Ziel der Untersuchung „Informationen über Alternativrouten als Grundlage für objektbezogene Bewertungsverfahren im BMS“ (WALTHER et al. 2007) liegt in der Ermittlung der Mehrkosten, die durch Nutzung von Alternativrouten im Rahmen von Erhaltungsmaßnahmen des BMS entstehen. Dabei zielt die Studie durch Berechnung und Clusterung dieser alternativroutenbezogenen Mehrkosten für ein großes Datenkollektiv von Bauwerken darauf ab, Faktoren für bestimmte Bauwerkstypen abzuleiten, mit deren Hilfe die Mehrkosten durch Nutzung der Alternativrouten direkt aus den Mehrkosten, die im Falle der erhaltungsmaßnahmenbedingten Teilspernung der Hauptroute entstehen, ermittelt werden können.

Diese Mehrkosten, die im Falle der erhaltungsmaßnahmenbedingten Teilspernung der Hauptroute entstehen, werden bereits im Rahmen des BMS-MB (Fachkonzept für die Bewertung von Erhaltungsmaßnahmen auf Objektebene) ermittelt.

Im Rahmen der Studie wird zunächst die Datenlage zu Alternativrouten dargelegt. Da diese sich als für das Projekt unzureichend erwiesen hat, werden weitgehend automatisierte Verfahren zur Verortung der Bauwerke und zur Identifizierung der jeweiligen Alternativroute unter Nutzung des Verkehrsmodells PTV Validate erstellt und angewendet.

### Bewertungsverfahren

Das Bewertungsverfahren zur Ermittlung der Mehrkosten der Alternativrouten basiert auf der Methodik der BVWP 2003. Es werden folgende Indikatoren betrachtet:

- Verkehrsbeteiligungsdauern,
- Fahrzeugbetriebskosten,
- Kraftstoffkosten,
- Unfallgeschehen,
- Klimabelastung.

Im Rahmen des Bewertungsverfahrens steht die Ermittlung der Mehrkosten im Mittelpunkt der Betrachtung.

Die jeweiligen Mehrkosten werden für bestimmte Szenarien ermittelt und ergeben sich aus dem Ver-

gleich einer Situation mit eingeschränkter Verkehrsführung (Erhaltungsmaßnahme wird umgesetzt, Bauwerk wird z. B. für den Schwerverkehr gesperrt) und einer Situation mit „normaler“ Verkehrsführung (Erhaltungsmaßnahme wird nicht umgesetzt, Bauwerk kann voll genutzt werden).

### Wirkungsermittlung

Die Wirkungsermittlung basiert auf dem Verfahren der BVWP 2003. Danach werden DTV-Werte des Verkehrsmodells zunächst unter Berücksichtigung von Tagesganglinien in stündliche Verkehrsstärken umgewandelt. Aus diesen stündlichen Verkehrsstärken werden über q-v-Beziehungen der BVWP-Methodik Geschwindigkeiten und letztlich Verkehrsbeteiligungsdauern ermittelt.

Hinsichtlich der Fahrzeugbetriebskosten und des Unfallgeschehens werden Fahrzeugbetriebskostengrundwerte und Unfallraten mit der streckenbezogenen, täglichen Fahrleistung multipliziert. Die Fahrleistungen ergeben sich direkt aus dem Verkehrsmodell. Zur Ermittlung der Klimabelastungen werden basierend auf den stündlichen Verkehrsstärken und der Streckenlänge nach dem Auslastungsgrad der jeweiligen Strecke differenzierte tägliche Fahrleistungen bestimmt und mit entsprechenden Emissionsfaktoren multipliziert.

Abschließend werden die Werte entsprechend den Hochrechnungsfaktoren der BVWP-Methodik auf Jahreswerte hochgerechnet.

- Lebenszyklusbetrachtung

Das entwickelte Bewertungsverfahren betrachtet ausschließlich den Zustand mit eingeschränkter Verkehrsführung, der im Rahmen von Arbeitsstellen auftritt und vergleicht diese Wirkungen mit denen bei ungestörtem Verkehrsfluss. Insofern erlaubt das Verfahren die Bewertung von Bau- und Erhaltungsphasen und könnte – bei entsprechender Modifikation und Aktualisierung – prinzipiell auch zur teilweisen Bewertung entsprechender Phasen von VBA herangezogen werden.

### Fazit

Das Verfahren hätte – unter Berücksichtigung des Modifizierungsbedarfs insbesondere hinsichtlich der Identifizierung der relevanten Alternativrouten – dazu verwendet werden können, die „negativen“ Nutzen zu ermitteln, die sich im Rahmen von Ar-

beitsstellen während der Bauphase und anlagenbezogenen Instandsetzungsarbeiten dadurch einstellen, dass Alternativrouten genutzt werden.

Da sich herausstellte, dass die negativen Nutzen in der Bau- und Rückbauphase vernachlässigbar sind (vgl. Kapitel 5.6.1 und 5.6.2), hat diese Untersuchung keine weitere Relevanz für das ggst. Forschungsvorhaben.

### **2.2.7 Erarbeitung eines Verfahrens zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Erhaltungsmanagement**

#### **Allgemeines**

Die Untersuchung „Erarbeitung eines Verfahrens zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Erhaltungsmanagement“ (HELLMANN und RÜBENSAM 2008) hat die Erstellung eines Verfahrens zum Ziel, mit dessen Hilfe zusätzliche Nutzerkosten, die sich während der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen aufgrund der Arbeitsstelle und den damit verbundenen Verkehrseinschränkungen im Vergleich zu einer Situation ohne Arbeitsstellen ergeben, quantifiziert werden können.

Auf übergeordneter Ebene soll diese Quantifizierungsmethode in ein Verfahren eingebunden werden, mit dem die Kosten einer netzweiten Erhaltungsstrategie den Nutzen dieser Strategie, die aus Reduzierung der Nutzerkosten entstehen, gegenübergestellt werden. Neben den Nutzerkosten, für deren Quantifizierung im Rahmen der hier behandelten Studie ein Verfahren erstellt wird, werden auch solche, die sich aus einer Verschlechterung des Fahrbahnzustands ergeben, in diese übergeordnete Betrachtung mit einbezogen. Zur Quantifizierung von Nutzerkosten durch Zustandsänderungen ist ein Verfahren von MAERSCHALK (2004) entwickelt worden.

Dieses übergeordnete Verfahren soll Entscheidungsträger in die Lage versetzen, zur Diskussion stehende Erhaltungsstrategien gesamtwirtschaftlich zu bewerten und sie im Ergebnis bei der Wahl der Erhaltungsstrategie unterstützen.

#### **Bewertungsverfahren**

Das entwickelte Verfahren zielt maßgeblich auf die Quantifizierung der Nutzerkosten im Vergleichs- und Planfall. Der Vergleichsfall beinhaltet die Situa-

tion, in der keine Arbeitsstelle zur Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme eingerichtet wird, während der Planfall eine Arbeitsstelle zur Durchführung einer konkreten Erhaltungsmaßnahme vorsieht. Die durch die Arbeitsstelle bedingten zusätzlichen Nutzerkosten ergeben sich aus dem Vergleich beider Fälle.

Bei der Auswahl der Indikatoren, mit deren Hilfe die Nutzerkosten des Plan- und Vergleichsfalls ermittelt werden, richtet sich die Studie nach der EWS (1997). Über eine qualitative Analyse dieser Indikatoren wird herausgearbeitet, dass vor allem folgende EWS-Indikatoren zur Beschreibung von Nutzerkosten herangezogen werden können:

- Fahrzeiten,
- Fahrzeugbetriebskosten (nur Kraftstoffverbrauch),
- Unfallgeschehen,
- Klimabelastung.

Im Rahmen der Wertsynthese werden die Indikatoren einer Monetarisierung unter Verwendung der Kostensätze der EWS (1997) zusammengeführt.

#### **Wirkungsermittlung**

Die Ermittlung der Wirkungen des Vergleichs- und Planfalls erfolgt anhand der EWS-Methodik. Maßgebende Eingangsgröße zur Ermittlung der Indikatoren in ihren originären Messgrößen ist die stündliche Verkehrsstärke  $q$ .

Aus ihr werden im Weiteren über  $q$ - $v$ -Beziehungen und Längenangaben der Streckenabschnitte Geschwindigkeiten, Fahrzeiten und Fahrleistungen abgeleitet. Zusammen mit Kraftstoffverbrauchsfaktoren, Unfallkostenraten und Emissionsfaktoren ergeben sich hieraus Werte für die oben genannten Indikatoren.

Hinsichtlich der Kraftstoffverbrauchsfaktoren, Unfallkostenraten,  $q$ - $v$ -Beziehungen und des maßgeblich durch die Kapazität des Streckenabschnitts definierten Wertebereichs innerhalb derer die jeweilige  $q$ - $v$ -Beziehung Gültigkeit hat, sind neuere Erkenntnisse insbesondere mit Bezug zu Verkehrsabläufen in Baustellen und des Stauf- und -abbaus in der Vorlaufstrecke einer Baustelle bei Überschreiten der Kapazität eingeflossen. Diese Erkenntnisse wurden bei der Verfahrensentwicklung zur Quantifizierung der Wirkungen des Planfalls berücksichtigt.

Die Ermittlung der stündlichen Verkehrsstärke erfolgt auf der Basis von Dauerzählstellendaten zum DTV und Ganglinien für eine als repräsentativ erachtete Bauwoche. Zur Abschätzung der durch die Einrichtung von Baustellen bedingten Erhöhung des Widerstands einzelner Strecken und den damit in Zusammenhang stehenden Verkehrsverlagerung wird ein nicht-modellbasierter, pauschaler Ansatz gewählt. Über diesen pauschalen Ansatz wird auch die aus der Verlagerung resultierende Erhöhung der Indikatorenwerte abgeschätzt.

- Lebenszyklusbetrachtung

Bei Modifikation und Aktualisierung wäre das Verfahren prinzipiell geeignet, um VBA in Unterhaltungs- und Bauphasen, die mit einer teilweisen Einschränkung des Verkehrsangebots einhergehen, teilweise zu bewerten. Eine Bewertung anderer Phasen des Lebenszyklus erlaubt das Verfahren hingegen nicht. Da die Studie maßgeblich auf der Methodik der EWS (1997) aufbaut, wäre eine weitgehende Neuentwicklung erforderlich.

### Fazit

Die Studie zeigt auf, wie „negative“ Nutzen von VBA, die sich bei Arbeitsstellen während der Bauphase und anlagenbezogenen Instandsetzungsarbeiten einstellen, für die betroffene Strecke selbst ermittelt werden können.

Das Verfahren müsste jedoch hinsichtlich des Zielsystems und der Wertsynthese überarbeitet werden, wenn es zur Bewertung des Betriebszustands „Bau und Erhaltung“ von VBA zum Einsatz kommen soll. Des Weiteren müssten erhebliche Anpassungen an die Verfahren des Wissensdokuments (FGSV 2007), dem Verfahren nach ARNOLD (2001) und den Ansätzen von BUSCH et al. (2009) vorgenommen werden.

Bei Verwendung des Verfahrens von HELLMANN und RÜBENSAM (2008) ergäbe sich somit ein sehr hoher Anpassungs- und Aktualisierungsbedarf. Hinzu kommt, dass die Nutzenkomponenten nur für die von der Arbeitsstelle direkt betroffene Strecke berechnet werden. Daraus resultierende Ausweichverkehre und durch diese Verlagerungen entstehende Effekte auf den Ausweichrouten werden nur pauschal über einen Faktor abgeschätzt; dieser basiert auf keinen empirisch belegten Untersuchungen.

Eine direkte Übertragbarkeit des Verfahrens ist damit insgesamt nicht gegeben.

## 2.2.8 Entwicklung von Verfahrenshilfen für ein netzorientiertes Baustellenmanagement von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen

### Allgemeines

Mit der Untersuchung „Entwicklung von Verfahrenshilfen für ein netzorientiertes Baustellenmanagement von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen“ (HELLMANN et al 2008) werden zwei Ziele verfolgt:

1. Das von MAERSCHALK (2004) und das im Rahmen der im Kapitel 2.2.7 vorgestellten Studie entwickelte Verfahren sollen zu einem übergeordneten Verfahren zur Bewertung von Erhaltungsstrategien zusammengefasst und softwareseitig umgesetzt werden.
2. Es soll ein Verfahren zur Betrachtung von Konflikten, die sich aus der Einrichtung zeitgleicher Baustellen in benachbarten Netzteilen (parallele Strecken und entlang eines Streckenverlaufs) ergeben können, erarbeitet und softwareseitig umgesetzt werden.

Durch Umsetzung dieser Ziele soll das bisherige PMS, das im Abstand von ca. 5 Jahren auf Basis technisch-funktionaler Aspekte optimierte Vorschläge für Erhaltungsmaßnahmen der kommenden Jahre erarbeitet, um den Aspekt der Nutzerkosten und der gegenseitigen Beeinflussung von Baustellen erweitert werden.

Im Zuge der Bearbeitung wurden damit keine neuen Verfahren entwickelt, sondern vielmehr zusammengefasst und softwareseitig implementiert.

### Fazit

Somit ist die Studie für das gegenständliche Forschungsvorhaben nicht weiter von Relevanz.

## 2.2.9 Ökonomische Aspekte von Streckenbeeinflussungsanlagen am Beispiel der VBA Tirol der ASFINAG

### Allgemeines

Im Rahmen der Untersuchung „Ökonomische Aspekte von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) am Beispiel der VBA Tirol der ASFINAG“ (NAGL et al. 2008) wird die VBA Tirol, bestehend aus einer 68 km langen SBA nach deren Implementierung



(ex post) hinsichtlich ihrer gesamtwirtschaftlichen Wirkung analysiert.

### **Bewertungsverfahren**

Das Bewertungsverfahren orientiert sich bzgl. Zielsystem und Wertsyntheseverfahren an dem österreichischen FSV-Regelwerk „Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen“. Demzufolge werden auf der Nutzenseite die Indikatoren Reisezeit, Fahrleistung, Unfallgeschehen sowie Schadstoff-, CO<sub>2</sub>- und Lärmemissionen berücksichtigt und monetarisiert.

### **Fazit**

Das Verfahren eignet sich nur für ex-post-Untersuchungen und ist daher – unabhängig von weiterem generellem Anpassungsbedarf – nicht für das Forschungsvorhaben verwendbar.

### **2.2.10 Untersuchung zu wirtschaftlichen Erhaltungsstrategien im Rahmen der Nutzungsdauer von Bauwerken**

#### **Allgemeines**

Ziel der Untersuchung „Untersuchung zu wirtschaftlichen Erhaltungsstrategien im Rahmen der Nutzungsdauer von Bauwerken“ (POMMERING et al. 2008) ist die Weiterentwicklung des BMS hinsichtlich der Berücksichtigung langfristiger Auswirkungen verschiedener Erhaltungsstrategien und die Bewertung langfristiger Erhaltungsstrategien über die Gesamtnutzungsdauer der Bauwerke.

Die Studie befasst sich dabei vor allem mit bauwerksbezogenen Wirkungen. Nutzerkosten im Sinne der Studien, die im Kapitel 6 und 7 behandelt werden, werden nur über einen vereinfachten Modellansatz auf Basis der EWS (1997) erfasst. Eine detaillierte Erläuterung der Wirkungsermittlung und des Bewertungsverfahrens ist nicht Bestandteil des Berichts.

### **Fazit**

Die Studie ist für das gegenständliche Forschungsvorhaben nicht weiter von Relevanz.

## **2.3 Sonstige Untersuchungen**

### **2.3.1 Leitfaden Verkehrstelematik**

#### **Allgemeines**

Der Leitfaden Verkehrstelematik (BMVBS 2006) beinhaltet neben grundsätzlichen Erläuterungen zur Strategieplanung, -umsetzung und Vernetzung von Verkehrsmanagementsystemen auch detaillierte Beschreibungen von Telematiklösungen. Dabei werden neben den für Bundesfernstraßen relevanten Systemen, die auch im Hinweispapier der FGSV behandelt werden, solche vorgestellt, die maßgeblich im Innerortsbereich Anwendung finden (z. B. Rechnergestütztes Betriebsleitsystem). Zusätzlich werden Hinweise zur Datenerfassung und -aufbereitung, zu möglichen Systemarchitekturen und zur Finanzierung derartiger Systeme gegeben.

#### **Bewertungsverfahren**

Es werden keine konkreten Aussagen zu Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Telematiklösungen getroffen. Es werden aber qualitativ Wirkungen, Wechselwirkungen und unerwünschte Nebenwirkungen zumindest ansatzweise aufgeführt. Auch vereinzelte Zusatznutzen von bspw. SBA werden erwähnt (z. B. Datenerfassung für externe Systeme, Nutzung durch Betriebsdienst).

#### **Wirkungsermittlung**

Die Beschreibungen der Telematiksysteme beinhalten auch eine maßgeblich qualitative Darstellung der Wirkungen dieser Telematiklösungen.

### **Fazit**

Die Problematik unterschiedlicher Phasen im Lebenszyklus von Telematiklösungen mit ihren jeweiligen phasenbezogenen Wirkungen ist nicht Bestandteil des Leitfadens.

### **2.3.2 Zweckmäßigkeitskriterien für Infrastruktureinrichtungen von Straßenverkehrstelematik-Systemen**

#### **Allgemeines**

Die Autoren der Studie „Zweckmäßigkeitskriterien für Infrastruktureinrichtungen von Straßenverkehrstelematik-Systemen“ (ABAY und MEIER 2001) behandeln eine Vielzahl unterschiedlicher Telema-

tikanwendungen für den Innerorts- und Außerortsbereich. Dabei stellen sie für unterschiedliche Systeme und deren Finanzierungsart Bewertungsverfahren vor, mit deren Hilfe die Umsetzungswürdigkeit dieser Anlagen beurteilt werden kann.

### **Bewertungsverfahren**

Im Bezug auf die im Rahmen des Forschungsvorhabens behandelten Anlagen und die in Deutschland überwiegende Finanzierung über öffentliche Mittel empfehlen die Autoren die Anwendung gesamtwirtschaftlicher Bewertungsverfahren. Dabei wird als Wertsyntheseverfahren die Nutzen-Kosten-Analyse, also die Monetarisierung der Wirkungen vorgeschlagen. Ein Zielsystem wird nicht explizit erwähnt, allerdings lässt sich dieses über die zu berücksichtigenden Indikatoren ableiten. Diese Indikatoren sind:

- Reisezeit,
- Fahrzeugbetriebskosten,
- Unfallkosten,
- Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und
- Lärmkosten

auf der Nutzenseite, während auf der Kostenseite Investitionskosten der Maßnahmen und Kosten für Verkehrssicherung und Verkehrsbeeinflussung berücksichtigt werden.

### **Wirkungsermittlung**

Hinsichtlich der Wirkungsermittlung werden nur allgemeine Hinweise gegeben. In der Studie finden sich zumeist Formulierungen, dass bspw. Emissionswerte für Vergleichs- und Planfall bekannt sein müssen.

Aufgrund der Vielzahl der in der Untersuchung behandelten Telematikanwendungen ist eine detaillierte Darstellung zur Ermittlung der Wirkungen sehr aufwändig.

### **Fazit**

Die Studie stützt hinsichtlich der grundsätzlichen Vorgehensweise (gesamtwirtschaftliche Betrachtung, Nutzen-Kosten-Analyse, zu betrachtende Nutzenkomponenten) weitgehend die Überlegungen zum gegenständlichen Forschungsprojekt.

Konkrete Hilfestellungen bei der Ausarbeitung des Bewertungskonzeptes bietet sie jedoch nicht.

### **2.3.3 Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen**

#### **Allgemeines**

Das Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (BARK et al. 2008) beschreibt ein Verfahren zur modellgestützten Bewertung der Verkehrssicherheit (Unfallkosten) von Straßenverkehrsanlagen in Abhängigkeit ihrer Gestaltung und Betriebs. Die Bewertung ist wesentlich detaillierter als herkömmliche Bewertungsverfahren wie bspw. nach SIEGENER et al. 2000 und ermöglicht auch eine differenzierte Bewertung von einzelnen Gestaltungselementen bzw. möglichen Defiziten. Grundlage ist der Verfahrensansatz der Grundunfallkostenraten, welche das Sicherheitsniveau einer richtlinienkonform entworfenen und betriebenen Straßenverkehrsanlage beschreibt. Anpassungen an die tatsächlichen Randbedingungen bzw. vorhandene Defizite können durch Zuschläge beschrieben werden und setzen das abgeschätzte (Grundrisiko)/Sicherheitsniveau herab.

Bisher sind im Entwurf keine Angaben zum Einsatz von VBA an BAB vorhanden bzw. vorgesehen. Es werden aber unterschiedliche Grundunfallkostenraten in Abhängigkeit von Querschnitt und zulässiger Höchstgeschwindigkeit beschrieben, was ggf. eine indirekte Bewertung von VBA ermöglicht.

Es gilt zu beachten, dass die im Entwurf enthaltenen Werte bisher nur „Platzhalter“ bzw. grobe Abschätzungen darstellen, welche aktuell durch Forschungsprojekte ermittelt bzw. validiert werden.

#### **Fazit**

Die Bewertungsmethodik – vor allem die Detaillierungstiefe – des HVS besitzt auch eine hohe Relevanz für die Bewertung von VBA. Anhand von Grundunfallkostenraten und Zuschlägen können ggf. unterschiedliche Gestaltungs- und Betriebsformen von VBA, auch bezüglich der vorherrschenden Infrastruktursituation, sicherheitstechnisch bewertet werden. Die konkreten Bewertungsgrundlagen werden aktuell im FE-Projekt 16.0012/2009 „Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßeninfrastruktur“ ermittelt. Voraussichtlich stehen diese Bewertungsgrundlagen bald zur Verfügung; bei einer

möglichen Anpassung des in diesem Forschungsvorhaben entwickelten Tools sollten die aktuellen Werte berücksichtigt werden.

### 2.3.4 Hinweise für Zuflussregelungsanlagen

In den Hinweisen für Zuflussregelungsanlagen (FGSV 2008) finden sich Definitionen und Beschreibungen zu Anlagenteilen von Zuflussregelungsanlagen (ZRA). Es sind Hinweise zur Überwachung und Bedienung der Anlage sowie zur Instandhaltung enthalten.

Der Wirtschaftlichkeitsnachweis soll nach FGSV 2007 erfolgen. Der Abschreibungszeitraum beträgt wie bei anderen VBA ebenfalls 10 Jahre.

### 2.3.5 Neuer Ansatz für standardisierte Ganglinien

#### Allgemeines

Im Rahmen der Untersuchung „Neuer Ansatz für standardisierte Ganglinien“ (BERNARD und AXHAUSEN 2008) wurde basierend auf Auswertungen des gemessenen, richtungsbezogenen Gesamtverkehrs an Dauerzählraten für die Jahre 2005 und 2006 ein Verfahren zur Ermittlung von neuen Wochen- und Jahresganglinien für das Schweizer Straßennetz (vom untergeordneten Netz über Passstraßen bis hin zu Hochleistungsstraßen) entwickelt. Die Ergebnissganglinien bilden die Grundlage für die neue Schweizer Norm SN 640 005b Ganglinien.

Anlass für die Studie war die Erfordernis einer realitätsnäheren Beschreibung der Verteilung der Verkehrsstärken, da insbesondere bei Nutzen-Kosten-Untersuchungen eine genauere Abschätzung der Verkehrsstärken in den Spitzenstunden erforderlich ist (z. B. auch um Rückstaueffekte an Knotenpunkten abbilden zu können).

Eines der Ergebnisse der Untersuchung beim Vergleich von Messwerten unter Anwendung der bisherigen Schweizer Norm, ist die Erkenntnis, dass bei theoretischer Verkehrsstärkenermittlung insbesondere die morgendliche Spitzenstunde unterschätzt wird.

#### Fazit

Es wird kein direkter Bezug zum vorliegenden Forschungsvorhaben gesehen.

### 2.3.6 Neue Methoden zur Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen

#### Allgemeines

Der Artikel „Neue Methoden zur Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen“ von DANAES et al. 2009 thematisiert eine Methodik zur Wirkungsbewertung der SBA-Anzeigen Stauwarnung und Tempolimit. Diese wird notwendig, da sich verkehrliche Randbedingungen im Bereich der Anlagen kontinuierlich ändern und eine Anpassung der Steuerung notwendig erscheint. Die Bewertung umfasst vier Komponenten:

1. -Nutzen Verkehrssicherheit durch Warnung vor Stauende,
2. -Nutzen Verkehrssicherheit durch Harmonisierung Verkehrsablauf,
3. -Nutzen Reisezeit durch Harmonisierung Verkehrsablauf,
4. -Kosten/Aufwände/negativer Nutzen durch Absenkung zulässige Höchstgeschwindigkeit.

Die Methodik ist als kurzfristige ex-post-Bewertung angelegt. Auf den ersten Blick erscheint eine Übertragung der Zusammenhänge auf ex-ante-Bewertungen wie die Lebenszyklusbewertung möglich, bei näherer Analyse zeigte sich hierfür jedoch kein Handlungsbedarf.

#### Fazit

Die Untersuchung hat keinen weiteren Einfluss auf die gegenständliche Thematik.

### 2.3.7 Echtzeitbeurteilung und -optimierung der Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen

#### Allgemeines

In der Untersuchung „Echtzeitbeurteilung und -optimierung der Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen“ von KAPPICH et al. 2010 wird ein Verfahren entwickelt, mit dem über verkehrstechnische Kenngrößen die Akzeptanz von VBA-Schaltungen überprüft werden können (auch online im Betriebsablauf). Dies betrifft vorrangig die Schaltungen zu Tempolimits und Lkw-Überholverböten. Diese Kenngrößen werden über Wertungsfunktionen auf:

- einen Akzeptanzindex und

- einen Harmonisierungsindex (Differenzgeschwindigkeiten, Fahrstreifenauslastung etc.)

skaliert. Das Bewertungsintervall beträgt 1 Minute.

### Fazit

Da diese Art von Bewertungsverfahren eher für kurzfristige ex-post Analysen gedacht ist, besitzt die Untersuchung eher keine Relevanz für das Projekt.

### 2.3.8 Quantifizierung der Verlagerungseffekte bei Bundesautobahnen im Rahmen von Bewertungsverfahren für Erhaltungsmaßnahmen

#### Allgemeines

Die Untersuchung „Quantifizierung der Verlagerungseffekte bei Bundesautobahnen (BAB) im Rahmen von Bewertungsverfahren für Erhaltungsmaßnahmen“ (LAFFONT et al. 2011) befasst sich in ihrem 1. Teil „Entwicklung eines geeigneten methodischen Vorgehens“ mit den Verlagerungswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf BAB, die auf die mit diesen Maßnahmen einhergehenden Einschränkungen des Verkehrsablaufs auf der BAB (Kapazitätseinschränkungen, Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit) zurückzuführen sind.

Dabei wird über die beispielhafte Analyse der Verlagerungswirkungen ausgewählter Erhaltungsmaßnahmen der Jahre 2005 bis 2007 versucht, eine allgemeine Methodik zu deren Quantifizierung abzuleiten. Im Rahmen der beispielhaften Analyse kommen makroskopische Verkehrsmodelle zum Einsatz. Dabei wurden auch Änderungen der Verlagerungswirkungen über die Dauer der Erhaltungsmaßnahme betrachtet.

Als Ergebnis der beispielhaften Berechnungen ergab sich, dass die Änderungen der Verkehrsbelastung der von den Erhaltungsmaßnahmen betroffenen Autobahnabschnitte – bezogen auf die Spitzenstunde – zwischen 2 % und 5 % lag. In Schwachlastzeiten ergaben sich keine oder nur vernachlässigbar kleine Verlagerungen. Die stärksten Verlagerungen traten dabei in der dritten und vierten Woche der Erhaltungsmaßnahme auf. Anschließend verringerten sich die Verlagerungswirkungen wieder. Werden DTV-bezogene Verlagerungswirkungen betrachtet, ergibt sich lediglich eine Änderung der Verkehrsstärke des BAB-Abschnitts von 1 %.

Regressions- und Clusteranalysen der Ergebnisse und mehrerer möglicher Einflussgrößen ergaben, dass sich kein genereller Zusammenhang zwischen diesen möglichen Einflussgrößen und der Verlagerung darstellen lässt.

Es lässt sich allerdings konstatieren, dass sich Abnahmen der Verkehrsstärken insbesondere dann ergeben, wenn die Fahrstreifenanzahl des Autobahnabschnitts im Zuge der Erhaltungsmaßnahme von 2 auf 1 bzw. 3 auf 2 Fahrstreifen reduziert wird.

### Fazit

Die Untersuchung beinhaltet wichtige Aussagen zur Verlagerungswirkung bei Baustellenzuständen, beinhaltet aber kein Verfahren zur Quantifizierung von Wirkungen oder negativen Nutzen, die mit diesen Baustellen einhergehen.

## 2.4 Folgerungen aus der Literaturrecherche

Hinsichtlich der Kosten von VBA ist als wichtigste Literaturquelle die „Überarbeitung des Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ (FELDGES und TRAPP, 2009) zu nennen, die eine Liste mit Standardkosten enthält, die im vorliegenden Forschungsvorhaben weiter verwendet wird.

Bezüglich der Nutzenermittlung sind vor allem die Untersuchungen SIEGENER et al. 2000 und PISCHNER et al. 2003 zu erwähnen, deren Ergebnisse in dem Wissensdokument FGSV 2007 aufgegangen sind. Diese Literaturquelle ist die maßgebliche Quelle der vorliegenden Untersuchung. Hier werden die wesentlichen Verfahren zur Nutzenermittlung in der Betriebsphase beschrieben.

Die in diesem Dokument beschriebenen ex-ante-Verfahren zur Berechnung des Nutzen verschiedener VBA-Typen wurden von BUSCH et al. 2009 in Excel-Tools umgesetzt und teilweise um weitere Verfahren erweitert. Die aktuellste Version der Excel-Tools ist in LISTL et al. 2012 enthalten.

Ein Verfahren zur Berechnung der Kosten und Nutzen von TSFn wurde 2001 von ARNOLD entwickelt und 2002 von SSP Consult als AVP-Programm umgesetzt.

Sowohl die Excel-Tools zur Berechnung des Nutzens während der Betriebsphase als auch das AVP-Programm werden im vorliegenden For-

schungsvorhaben weiter verwendet und in die Lifecycle-Tools integriert.

Hinsichtlich des Lebenszyklus von VBAn ist die Untersuchung „Kostenstruktur von Verkehrsleitsystemen“ von HOLZMÜLLER (1993) zu nennen, in der bereits zu dem damaligen Zeitpunkt als Nutzungsdauer der Elemente eines Verkehrsleitsystems 15 Jahre vorgeschlagen wurde.

Als weitere wichtige Literaturquelle ist die „Erstellung einer veröffentlichungsreifen und downloadfähigen Fassung des neuen ‚Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen‘“ von LISTL et al. 2012 aus dem das herkömmliche Verfahren der Nutzen/Kosten-Analyse entnommen wurde.

### 3 Konzept des Bewertungsverfahrens

#### 3.1 Allgemeines

Bewertungsverfahren bauen auf einem Zielsystem zur Erfolgskontrolle der angestrebten Wirkungen und zur Ableitung der Nutzen- und Kostenkomponenten auf und bestehen aus zwei zentralen Bausteinen,

- den Indikatoren oder Nutzen- und Kostenkomponenten als Messgrößen für diese Wirkungen und
- dem Wertsyntheseverfahren zur Aufbereitung der mit den Nutzen- und Kostenkomponenten erzielten Einzelergebnissen zu einer Gesamtbetrachtung oder einem Gesamtergebnis.

Das zu erstellende Bewertungsverfahren dient dazu, Wirkungen konkret geplanter VBA transparent zu machen, um damit eine Grundlage für eine Entscheidung, ob diese VBA umsetzungswert ist, zu schaffen. Die Wirkungsermittlung beruht auf vergleichenden Rechnungen, bei denen die Wirkungen im Fall ohne VBA (Vergleichsfall) dem Fall mit VBA (Prognosefall) gegenüber gestellt werden.

Das Bewertungsverfahren muss daher bzgl. der zwei genannten Bausteine und des Zielsystems auf VBA und deren Spezifika abgestellt werden. Gleichzeitig sollen entsprechend der Aufgabenstellung diesbezügliche Festlegungen übergeordneter bzw. gebräuchlicher Bewertungsverfahren wie der Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) bzw. der zukünftigen Richtlinie für Wirtschaftlichkeitsunter-

suchungen an Straßen (RWS) der FGSV berücksichtigt werden.

Außerdem ist zu berücksichtigen, dass das Verfahren die Wirkungen in allen relevanten Lebensphasen und den darin enthaltenen Betriebsphasen der Anlagen erfassen können muss.

Abschließend soll das resultierende Verfahren auch den Ansprüchen aus der Praxis bezüglich einer einfachen Handhabung entsprechen.

#### 3.2 Zielsystem

VBA werden vor allem errichtet, um den Verkehrsablauf homogener zu gestalten und Verkehrssicherheitspotenziale auszuschöpfen. Darüber hinaus gilt es weitere verkehrsplanerische Ziele und deren Erreichung zu betrachten, da auch diese durch VBA tangiert werden. In Anlehnung an etablierte Bewertungsverfahren (BVWP, EWS) und unter Berücksichtigung der Besonderheiten von VBA sollen der Lebenszyklusbetrachtung folgende Ziele zugrunde gelegt werden:

1. Verbesserung der Verkehrssicherheit,
2. Reduzierung der Reisezeiten,
3. Reduzierung der fahrleistungsbezogenen Fahrzeugbetriebskosten der Nutzer,
4. Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs,
5. Verminderung des Schadstoffausstoßes,
6. Minderung der Klimabelastung,
7. Minimierung der Investitions- und Unterhaltungskosten.

Das Zielsystem spiegelt die drei klassischen Dimensionen der Nachhaltigkeit „Soziales“, „Ökonomie“ und „Ökologie“ wider und orientiert sich damit auch am Leitbild eines nachhaltigen Verkehrssystems. Im Vergleich zu den bisherigen Bewertungsverfahren für VBA erfährt das Zielsystem eine deutliche Erweiterung und Vereinheitlichung. Insbesondere Ziele mit Bezug zum Schadstoffausstoß, zur Klimabelastung sowie zu den Fahrzeugbetriebskosten der Nutzer wurden bisher nur im Zusammenhang mit einigen ausgewählten VBA-Typen berücksichtigt.

Während die ersten sechs Ziele zur Ableitung entsprechender Nutzenkomponenten dienen, lassen sich die Kostenkomponenten auf das siebte Ziel zurückführen.

### 3.3 Lebenszyklus

Als Lebenszyklus einer VBA wird die Zeitdauer zwischen den folgenden Zeitpunkten angesehen:

- Beginn der Planung einer Anlage,
- vollständiger Rückbau einer Anlage.

Betrachtet man zwischen diesen beiden Zeitpunkten weitere Lebensabschnitte einer VBA, ergibt sich ein Lebenszyklus wie er in Bild 3 dargestellt ist.

Bei einer ersten Betrachtung eines exemplarischen Ablaufs (vgl. Bild 3) zeigen sich vielfältige Abschnitte im Zuge eines Lebenszyklus einer VBA:

- erste Planungen, die in einen RE-Entwurf münden,
- Detailplanung,
- Ausschreibung,
- Bau der Anlage,
- Probebetrieb,
- Betriebsdauer (sehr unterschiedlich),
- Rückbau.

Der Definition der einzelnen Lebensphasen liegen die beiden folgenden Grundsätze zugrunde:

- Über die Dauer einer Lebensphase sollen sowohl die Aufwände, als auch die Nutzen möglichst konstant sein.
- Es soll eine überschaubare Anzahl von Lebensphasen geben; zu kurze Abschnitte sollten vermieden werden.

Unter Beachtung dieser Aspekte werden die folgenden Lebensphasen betrachtet:

- Planungsphase von der ersten Planung bis einschl. der Einholung der Angebote für die Erstellung der Anlage
- Bauphase von Beginn des ersten Spatenstichs bis zur Abnahme der Anlage nach erfolgreicher Durchführung des „offenen Probebetriebs“
- Betriebsphase von unmittelbar nach der Abnahme der Anlage bis zur Ausschaltung der Anlage
- Rückbauphase ab dem Abschalten der Anlage bis zur Beendigung der Rückbauarbeiten
- Sanierungsphase ab dem Abschalten der Anlage bis zum Beginn einer neuen Betriebsphase.

Die ersten vier Lebensphasen bilden den klassischen Lebenszyklus ab: eine Anlage wird geplant, aufgebaut, ist in Betrieb und wird wieder abgebaut, sobald sie ihren Zweck erfüllt hat.

Im Falle von technischen Anlagen wie den VBA kommt es aber häufig zu der Situation, dass nach einer Betriebsphase eine Generalsanierung durchgeführt wird und anschließend wieder eine neue Betriebsphase folgt.

### 3.4 Nutzenkomponenten

#### 3.4.1 Zu berücksichtigende Komponenten

Basierend auf den im Kapitel 3.2 genannten Zielen 1 bis 6 werden folgenden Nutzenkomponenten zur Zielerreichung für alle VBA-Typen und deren Lebens- bzw. Betriebsphasen herangezogen:

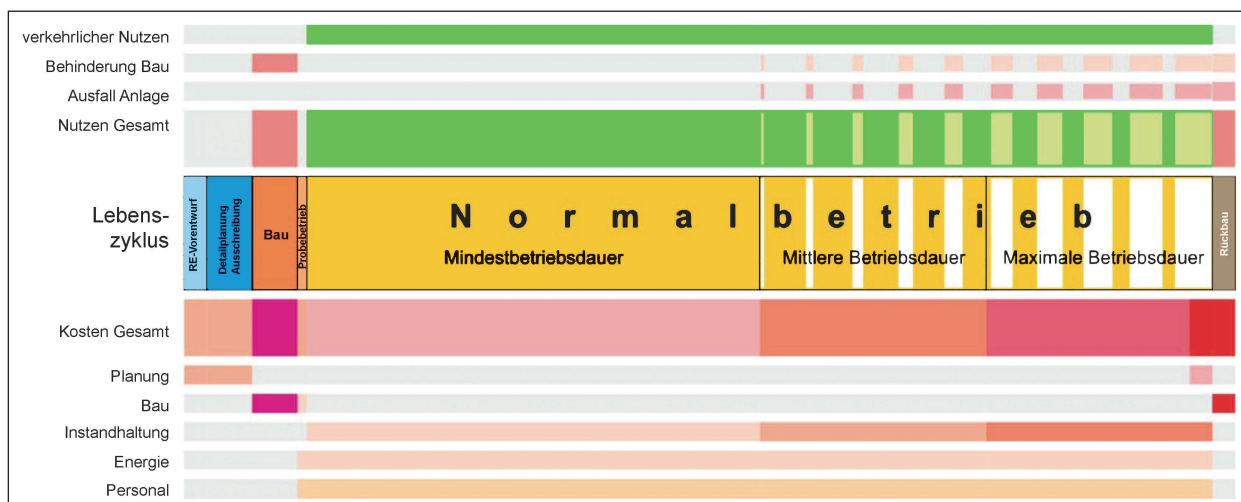


Bild 3: Exemplarischer Lebenszyklus einer VBA

- Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere,
- Nutzen aus Reisezeitersparnis,
- Nutzen aus Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten (außer Kraftstoff),
- Nutzen aus Kraftstoffersparnis,
- Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen,
- Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen.

Für diese Nutzenkomponenten werden im Folgenden Verfahren zur Quantifizierung entwickelt.

### 3.4.2 Berücksichtigung unterschiedlicher Lebensphasen und Betriebszustände

Hinsichtlich der verschiedenen Lebensphasen von VBA sind aus Sicht einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung insbesondere die Lebensphasen „Planung“, „Bau“, „Betrieb“ und „Rückbau“ von Belang. Während Kosten der Anlage in allen Lebensphasen anfallen (Planungs-, Bau-, Erhaltungs- und Rückbaukosten), gilt das für die Nutzen nur bedingt. Insbesondere in der Planungsphase entstehen keine Nutzen, da die verkehrliche Situation in dieser Lebensphase noch unbeeinflusst ist. Während der Bau- und Rückbauphase können ggf. sogar negative Nutzen durch Verkehrsbehinderungen während der Bau- bzw. Rückbauzeit (Arbeitsstellen und damit einhergehende Reduzierungen der Kapazität und zulässigen Höchstgeschwindigkeit) entstehen. In der Lebensphase „Betrieb“ werden die Nutzen durch die steuernden Eingriffe der Anlagen in den Verkehrsfluss überwiegen, aber in diesem Zeitraum müssen mit zunehmendem Alter der Anlage auch Erhaltungsarbeiten durchgeführt werden, die u. U. mit negativen Einflüssen in den Verkehrsablauf durch damit einhergehende Arbeitsstellen verbunden sind.

Insgesamt werden drei unterschiedliche Betriebszustände definiert, die mit Bezug zur Nutzenermittlung von Relevanz sind und die in den oben genannten Lebensphasen zu unterschiedlichen zeitlichen Anteilen auftreten können:

1. -Normalbetrieb: Die VBA ist funktionsfähig und steuert bei Bedarf den Verkehrsablauf. Dieser Betriebszustand schließt auch kleinere Funktionsstörungen und Erhaltungsmaßnahmen beispielsweise an einem Anzeigequerschnitt mit

ein, die die Funktion der Gesamtanlage nicht oder nur marginal beeinflussen. Im Vergleich zur Situation ohne VBA werden positive Nutzen erzeugt. Dieser Betriebszustand wird während der Lebensphase „Betrieb“ dauerhaft angestrebt und tritt daher in dessen Rahmen auf.

2. -Außer Betrieb: Die VBA ist überwiegend oder vollständig außer Betrieb, so dass sie keinen positiven Einfluss auf den Verkehrsablauf hat. Gegebenenfalls werden Bau-, Reparatur- oder Erhaltungsmaßnahmen ohne Störung des Verkehrsablaufs durchgeführt oder die Anlage befindet sich noch in der Planung. Es existiert in Bezug zum Verkehrsablauf kein Unterschied zur Situation ohne VBA. Daher werden weder positive noch negative Nutzen erzeugt. Ein derartiger Betriebszustand ist in den Lebensphasen „Planung“, „Bau“, „Betrieb“ und „Rückbau“ möglich.
3. -Bau und Erhaltung: Die VBA ist überwiegend oder vollständig außer Betrieb und kann damit den Verkehrsablauf nicht positiv beeinflussen. Zusätzlich werden Bau-, Reparatur- oder Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt, die mit einer Störung des Verkehrsablaufs verbunden sind. Derartige Störungen können in der kurzfristigen Sperrung einer Fahrbahn, der Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen oder der Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bestehen. Im Vergleich zur Situation ohne VBA ergeben sich durch diese Störungen negative Wirkungen. Dieser Betriebszustand ist daher durch negative Nutzen der VBA gekennzeichnet und tritt potenziell in den Lebensphasen „Bau“, „Betrieb“ und „Rückbau“ auf.

Über durchzuführende Befragungen von Landesbauverwaltungen wird ermittelt

- welchen zeitlichen Anteil die Betriebszustände jeweils an den einzelnen Lebensphasen haben und
- wie lang die einzelnen Lebensphasen durchschnittlich sind.

Durch Wichtung der betriebszustandsbezogenen Nutzen anhand der Dauer der Betriebszustände können zunächst lebensphasenbezogene Nutzen bestimmt werden. Die Wichtung dieser lebensphasenbezogenen Nutzen anhand deren Dauern erlaubt dann die Berechnung des Gesamtnutzens einer Anlage über den Lebenszyklus.

Da nur im Betriebszustand „Normalbetrieb“ und „Bau und Erhaltung“ positive bzw. negative Nutzen zu verzeichnen sind, müssen auch nur für diese beiden Zustände Verfahren zur Nutzenermittlung dargestellt bzw. entwickelt werden.

### 3.4.3 Verfahren zur Nutzenberechnung

Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsweisen der zu untersuchenden VBA-Typen variiert die Vorgehensweise zur Ermittlung der einzelnen Nutzenkomponenten, mit denen die Zielerreichung gemessen wird. Dies gilt in besonderem Maße, da die Wirkungen zusätzlich noch zwischen den auftretenden Betriebszuständen und Lebensphasen variieren.

In Kapitel 5 werden die Verfahren näher ausgeführt, mit denen die Nutzenkomponenten jeweils anlagentyp-, betriebszustands- und lebensphasenbezogen berechnet werden können.

Für einige der dargestellten Nutzenkomponenten existieren bereits Verfahren, mit denen sie für bestimmte Betriebszustände bzw. Lebensphasen ermittelt werden können. Für andere Komponenten, Betriebszustände und Lebensphasen liegen wiederum keine Verfahren vor; für diese Fälle sind im Rahmen des Projektes bereits erste Konzepte zu ihrer Ermittlung entwickelt worden.

Mit den Publikationen FGSV (2007), BUSCH et al. (2009) und ARNOLD (2001) liegen Verfahren zur Ermittlung einiger Nutzenkomponenten vor. Da diese Verfahren den aktuellen Wissensstand wiedergeben, sind sie die Grundlage der weiteren Arbeiten. Bei der Entwicklung von Verfahren für Nutzenkomponenten bzw. Betriebszustände und Lebensphasen, für die bislang keine Methoden vorliegen, wird die Kompatibilität mit den o. g. Ansätzen berücksichtigt.

Bzgl. der in den Verfahren verwendeten Verkehrsbelastungszahlen werden nach Möglichkeit immer Prognosewerte für ein durchschnittliches Jahr der jeweiligen Lebensphase angesetzt.

## 3.5 Kostenkomponenten

Im Zuge des Lebenszyklus' einer VBA treten die unterschiedlichsten Kostenarten auf (siehe Tabelle 5).

In der Planungsphase handelt es sich im Wesentlichen um Personalkosten bei den Straßenbauverwaltungen und Honorare für Ingenieurbüros für die Konzeption und die Planung einer neuen VBA.

In der nächsten Phase, der Bauphase, fallen zusätzlich zu den Investitionskosten der Anlage auch wieder Personalkosten bei den Straßenbauverwaltungen und eventuell Honorare für Ingenieurbüros für die Bauüberwachung an.

In der Betriebsphase fallen folgende Kosten an:

- Energiekosten,
- Instandhaltungskosten (bestehend aus Wartungs- und Instandsetzungskosten),
- Personalkosten (für Steuerung und Betreuung der Anlage).

Bei einem Rückbau oder bei einer Sanierung der Anlage ergeben sich die gleichen Kostenarten wie in der Bauphase.

Einen Überblick über die verschiedenen Kostenarten in den einzelnen Lebenszyklen haben ausschließlich die Straßenbauverwaltungen der Länder. Es wurde ein Fragenkatalog entwickelt, der an die entsprechenden Ansprechpartner bei den Länderverwaltungen übersandt wurde, um die genauen Kosten in den unterschiedlichen Lebenszyklen für die verschiedenen Anlagentypen zu erheben.

Lebensphase	Kostenarten				
	Personalkosten Straßenverwaltung	Honorare Ing.-büros	Baukosten	Betriebskosten	Instandhaltungskosten
Planung	x	x			
Bau	x	x	x		
Betrieb	x			x	x
Rückbau	x		x		
Sanierung	x	x	x		

Tab. 5: Kostenarten im Zuge des Lebenszyklus



### 3.6 Wertsyntheseverfahren

Die Zielerreichung wird durch einzelnen Zielen zugeordnete Nutzen- und Kostenkomponenten ermittelt. Das können bspw. Reisezeitersparnisse als Indikator der Verbesserung der Reisezeiten sein. Insbesondere die Nutzenkomponenten liegen häufig in unterschiedlichen Dimensionen vor (z. B. Stunden und Anzahl Unfälle). Es existieren unterschiedliche Verfahren, um die Einzelergebnisse der Nutzen- und Kostenkomponenten zu Teil- oder Gesamtausagen zusammenzufassen. Diese werden auch als Wertsyntheseverfahren bezeichnet. Eines der gebräuchlichsten Verfahren ist die Nutzen-Kosten-Analyse, bei der alle Komponenten monetarisiert, d. h. mit Kostensätzen bewertet und anschließend zusammengefasst werden.

Die Nutzen-Kosten-Analyse ist zentraler Bestandteil etablierter Bewertungsverfahren, wie der BVWP und der EWS bzw. deren geplanten Aktualisierung als RWS, und soll hier für die Lebenszyklusbetrachtung verwendet werden.

Die Gesamtheit der Kostensätze wird als Wertegerüst bezeichnet. Vor dem Hintergrund der angestrebten Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird geprüft, ob dieses für alle VBA-Typen auf der Basis aktueller Wertansätze wie z. B. BMVBS (2010) vereinheitlicht werden kann.

## 4 Ermittlung der Kostenkomponenten

### 4.1 Allgemeines

#### 4.1.1 Auswahl der Anlagen

Die Auswahl der zu untersuchenden Anlagentypen lehnt sich an die in FGSV 2007 betrachteten Anlagentypen an. In einem ersten Schritt wurden Informationen für die folgenden Anlagentypen eingeholt:

- Netzbeeinflussungsanlagen (NBA):
  - mit Wechselwegweisern (WWW),
  - mit dWiSta-Tafeln.
- Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA):
  - ohne Seitenstreifenfreigabe,
  - mit Seitenstreifenfreigabe (TSF),
  - mit Richtungswechselbetrieb (RtgWB).

- Knotenbeeinflussungsanlagen (KBA):
  - mit variabler Fahrstreifenzuteilung (vFSZ),
  - als Zuflussregelungsanlage (ZFR).

Hierzu wurden zu jedem Anlagentyp jeweils zwei bis sieben Anlagen ausgewählt.

Die betrachteten NBA waren alle aufgrund ihres Alters früher mit WWWn ausgerüstet und sind größtenteils bereits auf dWiSta umgerüstet worden.

Um sich einen Überblick über die Kosten von VBA in ihrem Lebenszyklus zu verschaffen, wurden die Straßenbauverwaltungen der Länder befragt. Dabei wurden vor allem Anlagen betrachtet, die bereits eine lange Betriebsdauer aufweisen.

Es wurde ein Fragebogen (siehe Anlage 1) entwickelt und an die entsprechenden Straßenbauverwaltungen gesendet.

Es wurden die Kosten von den in Tabelle 6 dargestellten Anlagen erhoben, wobei die verschiedenen Lebensphasen der Anlage berücksichtigt sind.

In Tabelle 6 ist mit Hilfe der grau schattierten Darstellung eine grobe Unterteilung vorgenommen, von welchen Anlagen Planungsgrundlagen und konkrete Kostenzahlen bereitgestellt wurden.

Aufgrund der dünnen Datenbasis für Anlagen mit RtgWB und für vFSZ werden diese beiden Anlagentypen in der weiteren Kostenauswertung nicht weiter betrachtet.

Die folgende Auswertung umfasst deshalb nur die Anlagentypen

- Netzbeeinflussungsanlagen (NBA),
- Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA),
- Temporäre Seitenstreifenfreigaben (TSF),
- Zuflussregelungsanlagen (ZFR).

#### 4.1.2 Erhebungsergebnisse

Die Erhebung umfasst 21 verschiedene Anlagen aus 9 Länderverwaltungen. Je Fragebogen wurden durchschnittlich 117 Informationen abgefragt. Insgesamt wurden somit 2.574 Informationen angefragt.

Bedingt durch den Umfang des Fragebogens konnte nur eine Rücklaufquote von 81 % (17 von 21) erreicht werden. Es gab keinen einzigen Rücklauf,

Bundesland	Projekt	Anlagentyp						
		NBA		SBA			KBA	
		WWW	dWiSta	ohne TSF	mit TSF	RtgWB	vFSZ	ZFR
ABDN	NBA A3/A7/A70/A73 Nürnberg-Schweinfurt	x						
BW	NBA A5/A6/A8/A81 Leonberg-Walldorf	x	x					
Saarland	NBA A620/A8/A1	x	x					
Hessen	NBA A5/A67 Bergstrassen-Korridor	x	x					
Hessen	SBA A5 Westkreuz Frankfurt bis Bad Homburger Kreuz			x				
Hessen	SBA A5 Bad Homburger Kreuz bis T&R Wetterau			x				
Hamburg	SBA A7/A23/A261 AK Hamburg-Südwest bis Quickborn bzw. Tornesch			x				
BW	SBA A8 Hohenstadt-Leipheim			x				
NRW	SBA A61 Meckenheim-Erfstadt			x				
RP	SBA A61 Bingen-Rheinböllen			x				
Saarland	SBA A6/A620 St.-Ingbert-Völklingen			x				
Hessen	TSF A5 Westkreuz Frankfurt bis Bad Homburger Kreuz				x			
NRW	TSF A4 Merheim-Refrath				x			
ABDS	TSF A8-Ost Rtg. Salzburg				x			
ABDS	TSF A8-Ost Rtg. München				x			
Berlin	Richtungswechselbetrieb A100 im Tunnel Britz					x	x	
Hamburg	Richtungswechselbetrieb A7 im Elbtunnel					x		
NRW	KBA Köln-West						x	
NRW	ZFR A43							x
ABDS	ZFR A94 Messe München							x
Hessen	ZFR A5 Friedberg							x
<b>Legende:</b> Für diese Anlagen wurden die meisten erforderlichen Unterlagen und Zahlen bereit gestellt								x
Für diese Anlagen wurden nur Planungsgrundlagen, keine konkreten Kostenzahlen bereit gestellt								x
Für diese Anlagen liegen gar keine Angaben vor								x

Tab. 6: Datengrundlage

der vollständig ausgefüllt war. In den rückgesendeten Bögen wurden im Schnitt 62 % der Informationen angegeben (siehe dazu Bild 4 bis Bild 7). Insgesamt wurden im Durchschnitt 50 % der angefragten Informationen beantwortet.

In einigen Fällen war es trotz intensiver Bemühungen nicht möglich, detaillierte Angaben zu den abgefragten Informationen zu erhalten. Für einige Fragen liegen daher nicht ausreichend Informationen vor. Insbesondere für Anlagen mit RtgWB und vFSZ gab es keinerlei verwertbare Rückmeldung, so dass im Folgenden auf die Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird.

Manche Datenblöcke liegen nur in so geringem Umfang vor, dass sie nur begrenzt belastbar sind.

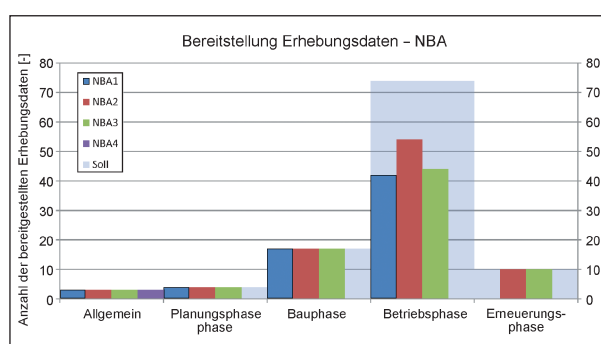
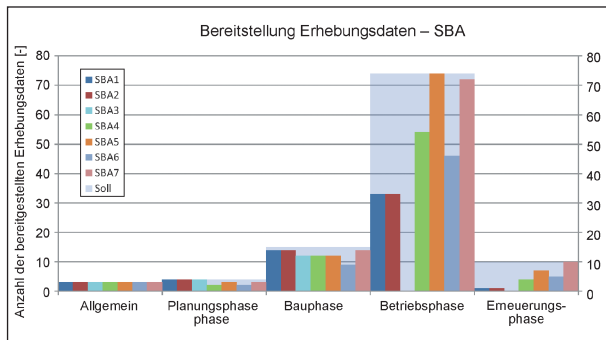
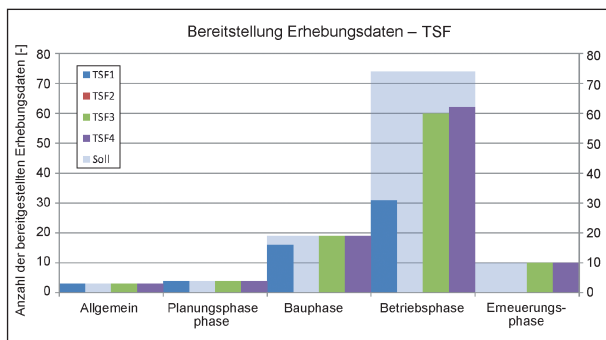


Bild 4: Beantwortungsquote der Fragebögen für NBA

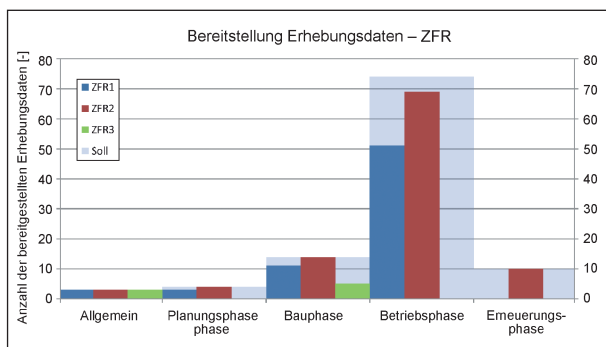
Dies gilt insbesondere für die laufenden Kosten in der Betriebsphase und die Kosten der VRZ sowie den Kostenanteil der jeweiligen Anlage an diesen.



**Bild 5:** Beantwortungsquote der Fragebögen für SBAn



**Bild 6:** Beantwortungsquote der Fragebögen für TSFn



**Bild 7:** Beantwortungsquote der Fragebögen für ZFRn

Insbesondere fällt auf, dass die Lücken bei den Erhebungsdaten vor allem in der Betriebsphase und in der Erneuerungsphase bzw. Sanierungsphase zu finden sind (vgl. Bild 4 bis Bild 7).

### 4.1.3 Preisstände und Inflation

Generell ist es üblich Kosten auf einen bestimmten Preisstand umzurechnen. Dazu wird i. d. R. der Baupreisindex – differenziert nach Anlagenart – genutzt. Bzgl. elektrotechnischer Anlagen ergeben sich hier über die Zeit vergleichsweise geringe Änderungen.

Anders verhält es sich beim Stahlpreis; hier gab es im Laufe der letzten 15 Jahre starke Schwankungen. Vor allem im Jahr 2008 gab es einen erheb-

lichen jedoch nur kurzzeitigen Preisanstieg. Im Sommer 2008 markiert mit 120 % des Preisindex von 2000 einen Höhepunkt. Dagegen erfolgte im Jahr 2009 wieder ein Rückgang auf ca. 50 % des Preisindex von 2000 und pendelte sich zwischenzeitlich zwischen 60 % und 80 % des Preisindex von 2000 wieder ein (DÖHRN 2012).

Besonders zu betrachten ist auch die Energiepreisentwicklung; hier ist ein stetiger Anstieg seit dem Jahr 2000 zu beobachten. Bezogen auf den Preisindex von 1990 ergab sich bis etwa 2000 keine deutliche Erhöhung. Aber seit dem Jahr 2000 ist ein stetiger Anstieg zu beobachten, der sich bis 2010 zu 62,5 % bezogen auf den Preisindex von 1990 kumuliert (Strompreis Wikipedia). Das entspricht einem Anstieg von etwa 2 %/Jahr und deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen der Befragung in Kapitel 4.4.2.

Da eine genaue Zuordnung, mit welchem Stahlpreis kalkuliert wurde, aufgrund der fehlenden Angaben in den Datensätzen nicht vorgenommen werden konnte, und der Baupreisindex von elektrotechnischen Anlagen über die Zeit nur vergleichsweise geringe Änderungen aufwies, wurde die Inflation bei der Auswertung der Erhebung nicht berücksichtigt und auf eine Harmonisierung der Kostensätze und den Bezug auf einen festen Preisstand verzichtet.

Lediglich bei den laufenden Kosten der Betriebsphase wird von überdurchschnittlichen Kostensteigerungen ausgegangen. Näheres hierzu in Kapitel 4.4.

### 4.1.4 Normierung der Kosten

Um eine Vergleichbarkeit innerhalb eines Anlagentyps herzustellen, müssen die einzelnen Kostenarten der verschiedenen Anlagen normiert werden.

Bei SBAn und TSFn eignet sich für eine Normierung die Kosten fahrtrichtungsbezogen (in km) anzusetzen. Alle Kosten einer Anlage werden durch die fahrtrichtungsbezogene Länge (in km) dividiert, bevor die so normierten Kosten der verschiedenen Anlagen miteinander verglichen werden.

Bei ZFRn liegt nahe, zur Normierung die Kosten auf die Stückzahl zu beziehen, und die normierten Kosten miteinander zu vergleichen.

Bei NBAn gestaltet sich eine Normierung etwas schwieriger. In verschiedenen Expertendiskussionen ergab sich, dass die Anzahl der Wechselweg-

weiserketten (in Stück), d. h. also die Anzahl der Zufahrten, die beeinflusst werden, und die fahrtrichtungsbezogene Länge der beeinflussten Abschnitte (in km) (Summe aller Normal- und Alternativrouten der Netzmasche) Auswirkungen auf die Kosten der Anlage haben. Erstere verursachen die Kosten für die Anzeigen, letztere die Kosten für die Verkehrsdatenerfassung.

Basierend auf den vorliegenden Kosten für drei NBAAn ergab sich ein Kostenverhältnis von 48:1. Eine Anzeigekette kostet demnach im Mittel 48 Mal so viel wie ein Kilometer der beeinflussten Strecke. Es wurde ein NBA-Kennwert entwickelt, der sich wie folgt berechnet:

NBA-Kennwert = Anzahl Ketten x 48 + Länge

mit

Anzahl/Ketten: Anzahl der Wegweiserketten in Zuläufen

Länge: Länge der beeinflussten Strecke als Summe aller Normal- und Alternativrouten der Netzmasche [km] (vgl. FGSV 2007).

Alle NBAAn werden auf diesen NBA-Kennwert normiert, d. h. alle Kostenarten einer NBA werden durch den jeweiligen NBA-Kennwert dividiert und anschließend werden die Kosten der verschiedenen Anlagen gegenübergestellt.

Für die drei untersuchten NBAAn liegt dieser Kennwert zwischen 334 und 588.

## 4.2 Kosten der Planungsphase

In der Planungsphase fallen bei der Straßenbauverwaltung vor allem Kosten für internen Personaleinsatz und für externe Planungshonorare an.

Leider konnten die Planungskosten der o. g. Anlagen bei vielen Straßenbauverwaltungen nicht mehr erhoben werden, da die entsprechenden Unterlagen und/oder das zum damaligen Zeitpunkt zuständige Personal nicht mehr verfügbar waren oder sich nicht mehr erinnern konnte.

Stattdessen wurden Gespräche mit einzelnen Straßenbauverwaltungen geführt, bei denen die grundsätzliche Höhe solcher Aufwendungen abgeschätzt wurde. Bei diesen Gesprächen ergab sich, dass die Ergebnisse beider Kostenarten nur sinnvoll in

Summe betrachtet werden können: manche Länderverwaltungen erbringen diese Leistungen selbst, andere lagern sie aus.

Es ergeben sich die in Bild 8 bis Bild 11 dargestellten Kostenspannen in der Planungsphase.

Die 3 betrachteten NBAAn wurden von externen Planungsbüros geplant, hier sind die internen Kosten der Straßenbauverwaltung vergleichsweise niedrig, die Kosten für die externen Planer dagegen relativ hoch. In der Summe zeigt sich ein annähernd stabiler Wert über alle Anlagen.

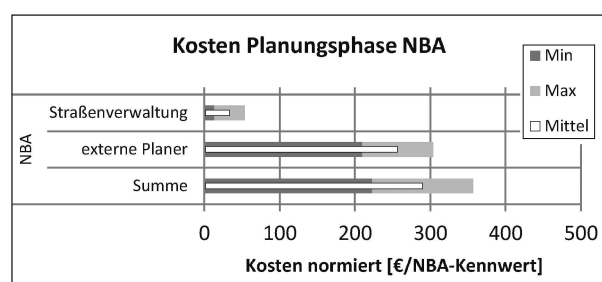


Bild 8: Kosten der Planungsphase für NBAAn

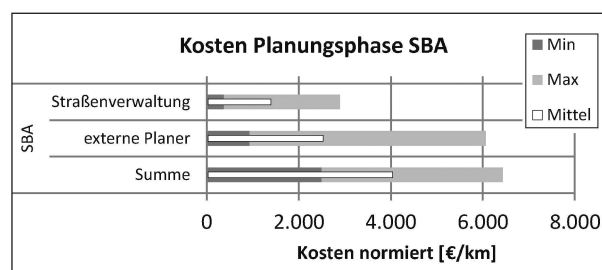


Bild 9: Kosten der Planungsphase für SBAAn

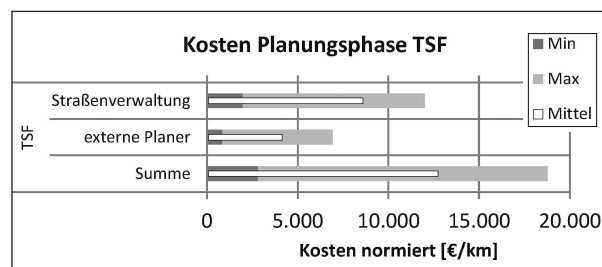


Bild 10: Kosten der Planungsphase für TSFAn

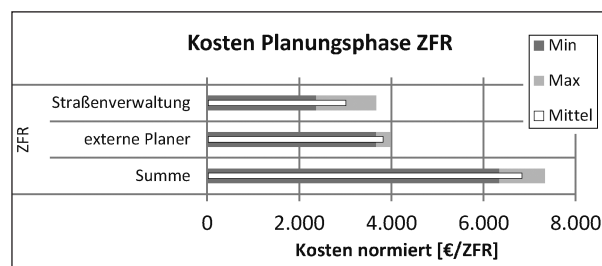


Bild 11: Kosten der Planungsphase für ZFRAn

Bei den 7 SBAn schwanken die internen und externen Kosten sehr stark. Konkrete Angaben liegen nur von 5 Anlagen vor. Die Schwankungen sind darauf zurückzuführen, dass zwei der Anlagen weitgehend von externen Büros geplant wurden und von zweien nur der RE-Entwurf von externen Büros angefertigt wurde, d. h. in diesen Fällen fallen die Kosten bei der Straßenbauverwaltung in vollem Umfang an.

Die 3 betrachteten TSFn wurden alle unter Beteiligung von externen Büros geplant. Trotzdem sind die internen Kosten der Straßenbauverwaltung sehr hoch. Da diese Angaben sich nur auf die TSF-Funktion – unter Voraussetzung einer bestehenden SBA – beziehen, wäre zu erwarten, dass die Planungskosten mit denen für eine SBA zu vergleichen ist. Aufgrund der nicht erklärbaren Abweichung und der starken Streuung der TSF untereinander werden die Erhebungsdaten als nicht genügend abgesichert angesehen.

Bei der Abschätzung der Planungskosten der TSF-Funktion wird deshalb mit dem gleichen Wert wie bei SBAn gerechnet.

Die beiden betrachteten ZFR-Anlagen wurden beide unter Beteiligung von externen Büros geplant. Trotzdem sind die internen Kosten der Straßenbauverwaltung relativ hoch.

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Planungskosten in Höhe von ca. 290 € pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Planungskosten in Höhe von ca. 3.900 € pro fahrtrichtungsbezogenem km zu rechnen,
- für eine TSF ist im Mittel mit Planungskosten in Höhe von ca. 3.900 € pro fahrtrichtungsbezogenem km zu rechnen,
- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu Planungskosten in Höhe von ca. 6.800 €.

Prinzipiell gilt natürlich, dass die Planungskosten mit der Größe der Anlage degressiv steigen. Dies gilt insbesondere für die Anzahl der ZFRn. Hier ist der Ansatz einer Normierung nur bedingt zulässig. Das muss eventuell beim Abschätzen der Planungskosten berücksichtigt werden.

## 4.3 Kosten der Bauphase

### 4.3.1 Generelles

Die Kosten der Bauphase bestehen aus den Personalkosten für die Betreuung der Bauphase (Bauüberwachung) sowohl durch die Straßenbauverwaltung als auch durch eventuelle externe Bauüberwacher und den eigentlichen Herstellungskosten (Investitionskosten) der Anlage.

### 4.3.2 Bauüberwachungskosten

Die Kosten für die örtliche Bauüberwachung wurden teilweise – ähnlich wie die Planungskosten – von einzelnen Straßenverwaltungen lediglich geschätzt. Sie werden – wie die Planungskosten – anlagenspezifisch ausgewertet.

Auch hier gilt: interne und externe Kosten sind nur sinnvoll als Summe auszuwerten, da manche Länderverwaltungen diese Leistungen selbst erbringen, andere vergeben sie an Ingenieurbüros.

Es ergeben sich die in Bild 12 bis Bild 15 dargestellten Kostenspannen für die Bauüberwachung.

Die 3 betrachteten NBAn wurden von externen Planungsbüros bauüberwacht, hier sind die internen Kosten der Straßenbauverwaltung vergleichsweise niedrig, die Kosten für die externen Planer dagegen relativ hoch. In der Summe zeigt sich ein annähernd stabiler Wert über alle Anlagen.

Von den 7 SBAn liegen nur von 4 Anlagen konkrete Angaben zu den Bauüberwachungskosten vor. Drei der Anlagen wurden weitgehend von externen Büros überwacht.

Von den 3 betrachteten TSFn wurden nur zwei unter Beteiligung von externen Büros bauüberwacht. Dies zeigt sich darin, dass unter Minimum für externe Planer eine „null“ vorkommt.

Aufgrund der großen Abweichungen erscheinen die Angaben wenig belastbar, insbesondere da sich die Kosten nur auf die TSF-Funktion – unter Voraussetzung einer bestehenden SBA – beziehen. Bei der Abschätzung der Bauüberwachungskosten der TSF-Funktion wird deshalb mit dem gleichen Wert wie bei SBAn gerechnet.

Eine der beiden betrachteten ZFR-Anlagen wurde unter Beteiligung von einem externen Büro bauüberwacht, die andere wurde von der Verwaltung selbst bauüberwacht. In der Summe reduzieren sich diese Streuungen und es ergibt sich ein relativ stabiler und plausibler Wert.

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Bauüberwachungskosten in Höhe von ca. 240 € pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Bauüberwachungskosten in Höhe von ca. 6.300 € pro fahrtrichtsbezogenem km zu rechnen,
- für eine TSF ist im Mittel mit Bauüberwachungskosten in Höhe von ca. 6.300 € pro fahrtrichtsbezogenem km zu rechnen,

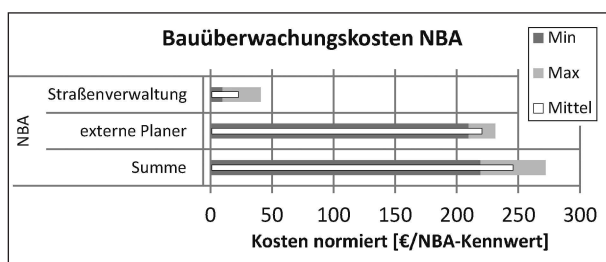


Bild 12: Bauüberwachungskosten für NBA

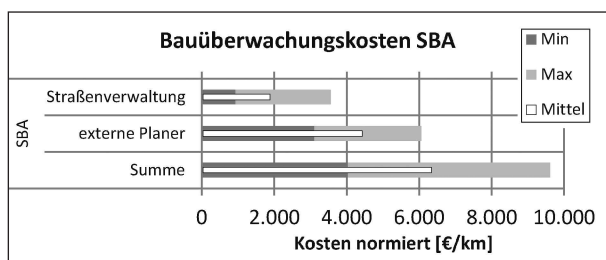


Bild 13: Bauüberwachungskosten für SBA

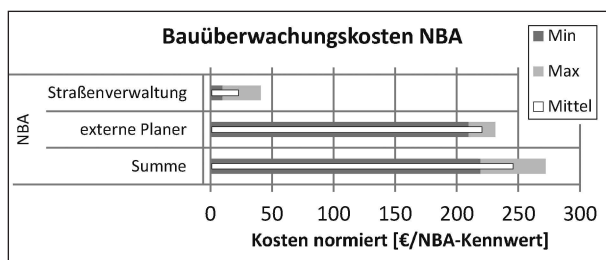


Bild 14: Bauüberwachungskosten für TSFn

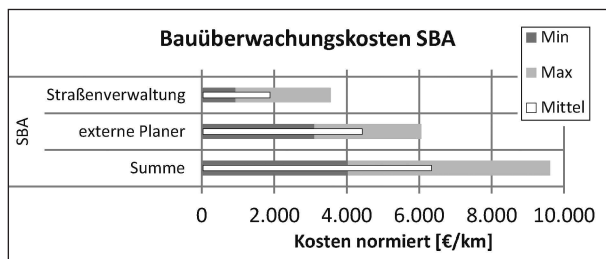


Bild 15: Bauüberwachungskosten für ZFRn

- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu Bauüberwachungskosten in Höhe von ca. 3.200 €.

Prinzipiell gilt auch hier, dass die Bauüberwachungskosten mit der Größe der Anlage degressiv steigen. Dies gilt insbesondere für die Anzahl der ZFRn. Hier ist der Ansatz einer Normierung nur bedingt gültig. Das muss eventuell beim Abschätzen der Bauüberwachungskosten berücksichtigt werden.

### 4.3.3 Investitionskosten

Die Gliederung der Herstellungskosten erfolgte gemäß den Tabellen des überarbeiteten Muster-RE-Entwurfs 2009, damit eine Vergleichbarkeit zwischen Muster-RE-Entwurf und der aktuellen Kostenerhebung gegeben ist.

Zur Abfrage der Investitionskosten wurden die normierten Preise des Muster-RE-Entwurfs in den Fragebogen eingesetzt. Diese Preise sollten bestätigt werden oder davon abweichende Kosten dokumentiert werden.

In der Regel wurden keine Abweichungen von den Preisen dokumentiert. Lediglich in 7 der 15 rückläufigen Fragebögen wurden einzelne Änderungen vorgenommen.

In der Summe enthielten die 17 rückläufigen Fragebögen 210 Standardkostensätze. Es wurden 36 Kostenänderungen eingetragen. Dies entspricht 17 % aller Fälle.

In Bild 16 bis Bild 19 sind die abweichenden Angaben zu den Investitionskosten der verschiedenen

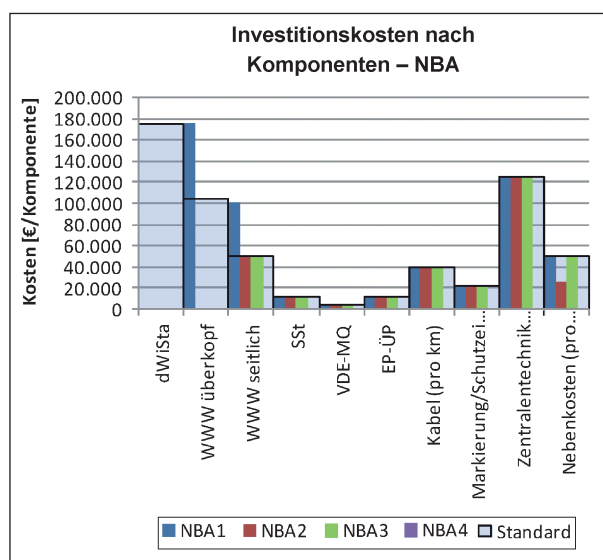
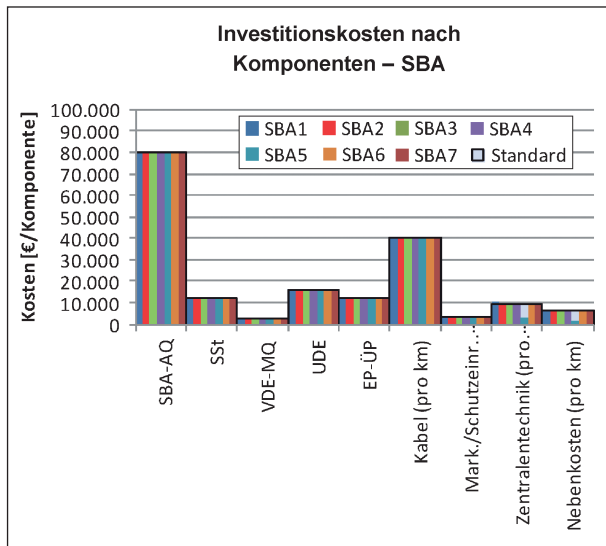
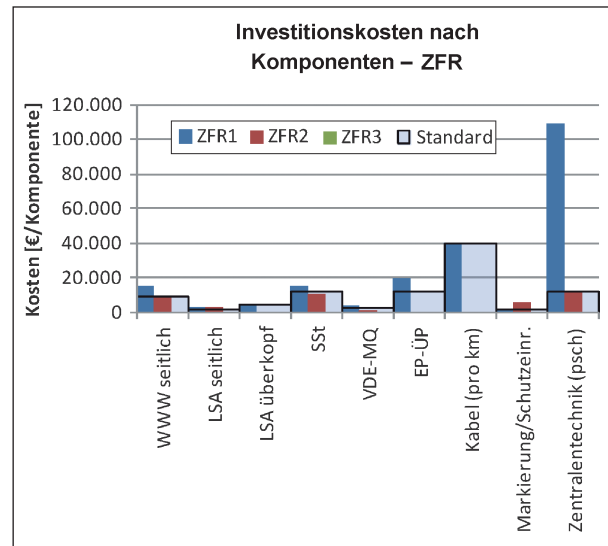


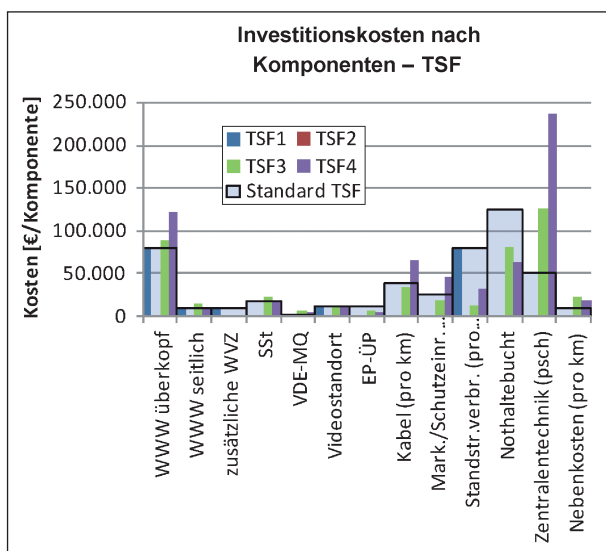
Bild 16: Abweichende Angaben zu den Investitionskosten der verschiedenen Komponenten bei NBA



**Bild 17:** Abweichende Angaben zu den Investitionskosten der verschiedenen Komponenten bei SBAn



**Bild 19:** Abweichende Angaben zu den Investitionskosten der verschiedenen Komponenten bei ZFRn



**Bild 18:** Abweichende Angaben zu den Investitionskosten der verschiedenen Komponenten bei TSFn

Komponenten – nach Anlagentypen unterteilt – dargestellt.

Bei den NBAn fallen vor allem Differenzen bei den Kosten für die Wechselwegweiser auf. Die überkopf angebrachten WWW werden anstelle mit 105.000 € mit 175.000 € angegeben und die seitlich angebrachten WWW werden statt 50.000 € mit etwa 100.000 € angegeben. Stattdessen gibt es bei einer Anlage geringere Nebenkosten.

Die Abweichungen bei den Kosten für die WWW sind deren Größe und der überkopf-Anbringung geschuldet. Es handelt sich um WWW in Prismentechnik mit faseroptischen Einsätzen, die aufwändiger ausgeführt wurden, als üblicherweise die gän-

gigen additiven Wechselwegweiser in Prismentechnik, die im Standardkostenverzeichnis aufgeführt sind.

Bei den SBAn wurden nur sehr wenige Änderungen vorgenommen. Differenzen gab es nur bei den Komponenten Zentralentechnik und Nebenkosten. Beides sind Punkte, die sehr schwierig zu normieren sind und die Abweichungen sind nur marginaler Art.

Bei den TFSn gibt es einige Abweichungen. Nennenswert sind hier die Abweichungen nach oben bei den Kosten für die überkopf angebrachten Wegweiser, für die Kabelverlegung und für die Zentralentechnik sowie die Abweichungen nach unten bei den Kosten für die Seitenstreifenverbreiterung und die Nothaltebuchten.

Dies lässt sich sicherlich dadurch erklären, dass überkopf angebrachte Wegweiser sehr unterschiedlich groß sein können und bei den hier betrachteten Anlagen 4 bis 6 Fahrstreifen pro Richtung vorliegen, d. h. überdurchschnittlich große Wegweiser umzurüsten waren.

Die Gründe für die überdurchschnittlich hohen Kosten für die Zentralentechnik konnten nicht endgültig geklärt werden, ebenso wie die Gründe für die ungewöhnlich niedrigen Kosten bei den Kosten für die Seitenstreifenverbreiterung und für die Nothaltebuchten.

Bei den ZFRn fallen vor allem die Abweichungen bei den Kosten für die Zentralentechnik auf. Es kann hier nur davon ausgegangen werden, dass in

diesem Fall in der Position Zentralentechnik Anpassungen an die Zentrale enthalten sind, die den Normalfall überschreiten.

Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs eignen sich die Erhebungsdaten nicht für eine Anpassung der Standardkosten der VBA-Komponenten aus dem Muster-RE-Entwurf.

## 4.4 Kosten der Betriebsphase

### 4.4.1 Generelles

In der Betriebsphase sind sowohl die Energiekosten, die Wartungskosten, die Instandsetzungskosten und die Personalkosten in der Straßenbauverwaltung von Bedeutung. U. U. fallen auch noch einmal Kosten für Justierungen und Parametrisierungen an.

Die Betriebs- und Wartungskosten wurden für jedes Jahr nach Inbetriebnahme getrennt erhoben (vgl. Fragebogen in Anlage 1). So sollte festgestellt werden, inwieweit sie sich mit dem Alter der Anlage verändern.

### 4.4.2 Energiekosten

In der Mehrzahl der Verwaltungen war es nicht möglich, die Energiekosten einer Anlage zu erheben, da die Energie für den Betrieb der Anlagen oftmals von Energieversorgungsanschlüssen entnommen werden, die nicht ausschließlich nur VBAn versorgen.

In Bild 20 bis Bild 23 ist dargestellt, wie sich die Energiekosten der verschiedenen Anlagentypen über die Betriebsdauer entwickeln.

Nicht bei allen Anlagentypen konnte der mittlere Verlauf über 20 Jahre dargestellt werden. Sofern keine Angaben über Anlagen im entsprechenden Alter vorlagen, endet die Kurve naturgemäß früher.

Energiekosten für NBAn lagen nur von einer Anlage vor. Deren Entwicklung ist aber plausibel. Die Steigerung beträgt im Durchschnitt ca. 2 % pro Jahr. Die Datenbasis ist jedoch nicht belastbar und sollte bei Abschätzung der Energiekosten für NBAn gesondert durch Erfahrungswerte belegt werden.

Energiekosten für SBAn lagen nur von zwei Anlagen vor. Die Steigerung beträgt im Durchschnitt ca. 2,5 % pro Jahr. Die Schwankungen bei einer der

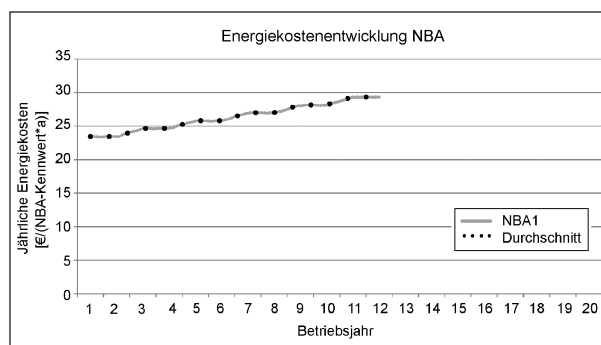


Bild 20: Mittlerer Verlauf der Energiekosten über die Betriebsdauer von NBAn

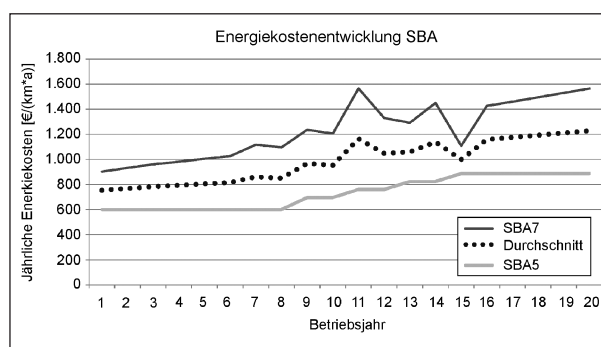


Bild 21: Mittlerer Verlauf der Energiekosten über die Betriebsdauer von SBAn

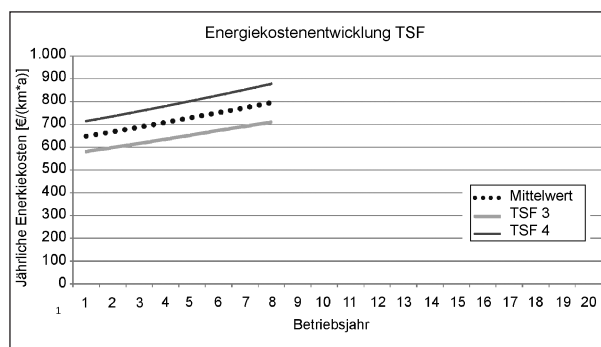


Bild 22: Mittlerer Verlauf der Energiekosten über die Betriebsdauer von TSFn

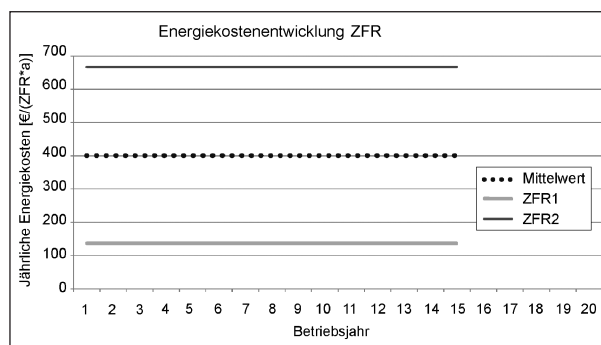


Bild 23: Mittlerer Verlauf der Energiekosten über die Betriebsdauer von ZFRn



Anlagen könnten auf neue Verhandlungen mit dem Energieanbieter (im Betriebsjahr 11) zurückzuführen sein. Im Betriebsjahr 15 erfolgte ein Austausch der WVZ von Faseroptik zu LED-Technik, wodurch die Energiekosten kurzfristig zurückgingen.

Prinzipiell muss beachtet werden, dass die WVZ von SBAn häufig rund um die Uhr eingeschaltet sind, da bei den meisten Anlagen als Grundversorgung eine Geschwindigkeitsbeschränkung angeordnet ist, die auch ohne Verkehrsbelastung angezeigt wird. In diesen Fällen führt die Zunahme der Verkehrsstärke nicht zu einem höheren Energieverbrauch. Alle anderen Anlagen sind im Normalfall ausgeschaltet und werden nur bei starken Verkehrsbelastungen bzw. bei Störungen eingeschaltet; bei diesen ist der Energieverbrauch von der Verkehrsbelastung abhängig.

Energiekosten für TSFn lagen nur von zwei Anlagen vor. Die Steigerung beträgt auch hier im Durchschnitt 2,5 % pro Jahr.

Energiekosten für ZFRn lagen von beiden untersuchten Anlagen vor. Nach Angaben beider Betreiber wurden die Energiekosten als statisch angegeben. Da beide Angaben sehr stark voneinander abweichen, ist das Ergebnis in Frage zu stellen und sollte bei Abschätzung der Energiekosten für ZFRn gesondert durch Erfahrungswerte belegt werden.

Prinzipiell sind die Kostensteigerungen für Energie über die Zeit nicht vernachlässigbar (vgl. auch Kapitel 4.1.3). Dies wird im Berechnungstool entsprechend berücksichtigt.

Die hier ausgewerteten Anlagen waren weitgehend mit faseroptischen WVZ ausgestattet. Durch den Einsatz der LED-Technik bei den WVZ wird der Energiebedarf erheblich zurückgehen. Dies bedeutet einen Rückgang auf ca. 15-20 % des Energieverbrauchs, jedoch ausschließlich auf die lichttechnischen WVZ bezogen; die Energiekosten der anderen VBA-Komponenten ändern sich in diesem Fall nicht.

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Energiekosten in Höhe von ca. 30 €/a pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Energiekosten in Höhe von ca. 1.200 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,

- für eine TSF ist im Mittel mit Energiekosten in Höhe von ca. 800 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu Energiekosten in Höhe von ca. 400 €/a.

#### 4.4.3 Instandhaltungskosten

Unter Instandhaltungskosten werden sowohl die Kosten des Wartungsvertrages (= Präventivwartung), als auch die Kosten verstanden, die bei der Instandsetzung von Komponenten der Anlage entstehen, die ohne Fremdeinwirkung defekt sind und über die Gewährleistung nicht mehr abgedeckt sind.

Zusätzlich wurde im Rahmen der Instandhaltungskosten die Wartung der Hard- und Software zur Steuerung der Anlage eingerechnet. Erfahrungsgemäß beträgt die Hardwarewartung ca. 15 %/a der Anschaffungskosten, für Softwarewartung etwa 10 %/a. Dies wird in dieser Form bei allen betrachteten Anlagentypen gleich angesetzt.

Es ergeben sich die in Bild 24 bis Bild 27 dargestellten Verläufe der normierten Instandhaltungskosten (als Summe von Wartungs- und Instandsetzungskosten) der verschiedenen Anlagentypen in der Betriebsphase. Dabei betragen die Instandsetzungskosten

- bei NBAn im Durchschnitt etwa 40 %,
- bei SBAn im Durchschnitt etwa 15 %

der gesamten Instandhaltungskosten. Da von den TSFn und von den ZFRn keine Instandsetzungskosten unmittelbar vorlagen, wurde diese wie folgt abgeschätzt:

- bei TFSn wurde davon ausgegangen, dass sich das Verhältnis zwischen Wartungskosten und Instandsetzungskosten genauso wie bei SBAn verhält,
- bei ZFRn wurde ein Mittelweg zwischen den NBAn und den SBAn gewählt, da eine ZFR im Verhältnis auch mehr Messstellen umfasst und somit eher mit den NBAn vergleichbar ist; hier wird ein Anteil von 28 % für die Instandsetzungskosten angesetzt.

Sprünge in den Verläufen können zum einen durch Neuverhandeln des Wartungsvertrags oder zum anderen durch zusätzlich erforderliche Instandsetzungsarbeiten entstehen.

Instandhaltungskosten liegen bei allen drei untersuchten NBA n vor. Bei einer Anlage wurden nach Ablauf der Garantiezeit die Wartungskosten konstant gehalten, bei einer anderen Anlage wurde der Wartungsvertrag regelmäßig nachverhandelt. Insgesamt ergibt sich ein plausibles Bild.

Instandhaltungskosten liegen von sechs der sieben untersuchten SBAn vor. Es fallen zwei der Anlagen – davon eine mit erheblichen Steigerungsraten – aus dem Muster. Alle anderen Anlagen bewegen sich recht dicht um den Kostenwert von 2.000 €/km\*a.

Da zwei der Anlagen deutlich über diesem Muster liegen, wird mit dem Mittelwert der sechs Anlagen weitergearbeitet.

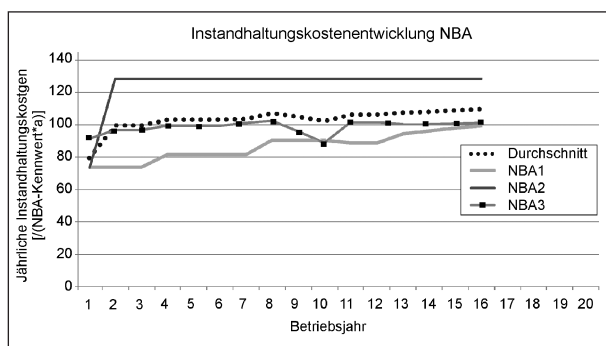
Instandhaltungskosten wurden von allen drei untersuchten TSFn angegeben. Die Verläufe sind noch relativ konstant. Es gibt große Abweichungen unter den einzelnen Anlagen. Es wird mit dem Mittelwert der drei Anlagen weitergearbeitet.

Es fällt auf, dass die mittleren Instandhaltungskosten für die TSFn deutlich unterhalb der mittleren Instandhaltungskosten für SBAn liegen. Dies hat wohl zwei Gründe:

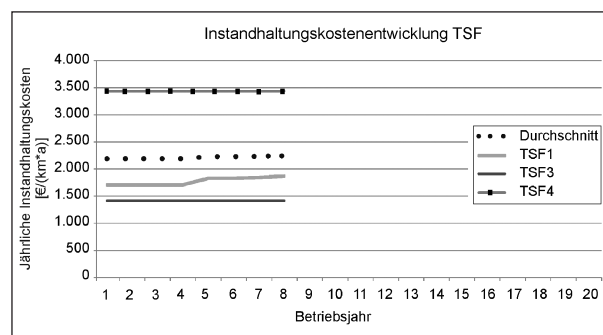
- Die Instandhaltungskosten umfassen ausschließlich die VBA-Komponenten für die TSF ohne die SBA-Komponenten. Da sich die TSF-Komponenten i. d. R. neben der Fahrbahn befinden, ist die Wartung deutlich leichter als bei den überkopf-angebrachten Komponenten der SBA. Dies erklärt teilweise die niedrigeren Kosten.
- Der Stichprobenumfang umfasst drei Anlagen: Bei zweien liegen die Wartungspreise tendenziell deutlich zu niedrig.

Wenn man bedenkt, dass sich die Instandhaltungskosten im Laufe der Betriebszeit auf fast die Hälfte der Baukosten (vgl. Bild 49) aufsummieren können, kommt es hin und wieder zu Spekulationen von Herstellern, die mit günstigen Wartungskosten in den Wettbewerb gehen. Dies gilt insbesondere, wenn nur – wie in diesen Fällen – eine 6-jährige Wartungsdauer angeboten werden musste.

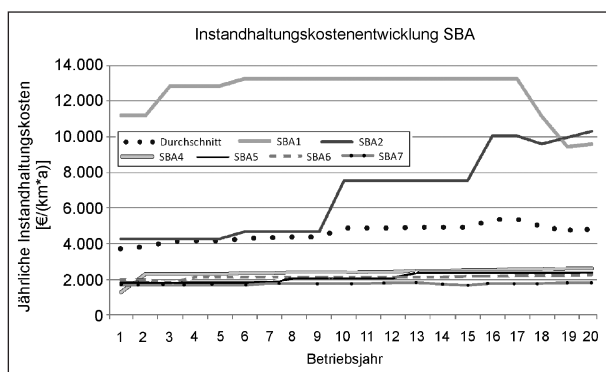
Die Ergebnisse der Instandhaltungskosten für TSFn sind deshalb nicht belastbar und sollten bei Erfordernis gesondert durch Erfahrungswerte belegt werden.



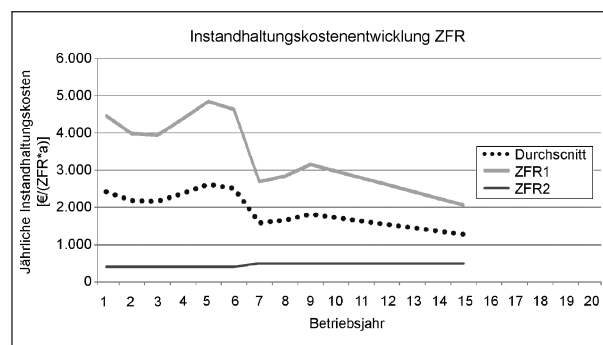
**Bild 24:** Mittlerer Verlauf der Instandhaltungskosten über die Betriebsdauer von NBA n



**Bild 26:** Mittlerer Verlauf der Instandhaltungskosten über die Betriebsdauer von TSFn



**Bild 25:** Mittlerer Verlauf der Instandhaltungskosten über die Betriebsdauer von SBAn



**Bild 27:** Mittlerer Verlauf der Instandhaltungskosten über die Betriebsdauer von ZFRn

Die Instandhaltungskosten von beiden untersuchten ZFRn liegen vor. Der Verlauf der Instandhaltungskosten der ZFR1 ist jedoch in keiner Weise plausibel. Deshalb werden die Werte der ZFR1 verworfen und im Folgenden mit den Werten der ZFR2 weitergearbeitet.

Die Datenbasis ist jedoch nicht belastbar und sollte bei Abschätzung der Instandhaltungskosten für ZFRn gesondert durch Erfahrungswerte belegt werden.

Auch bei den Wartungskosten ist durch den Einsatz der LED-Technik bei den WVZ mit einem Rückgang der Kosten zu rechnen, da die Glühmittel nicht mehr regelmäßig prophylaktisch ausgetauscht werden. Diese Kostenreduktion ist jedoch hier nicht näher beziffert, da hierzu keine Daten erhoben wurden.

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Instandhaltungskosten in Höhe von ca. 100 €/a pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Instandhaltungskosten in Höhe von ca. 4.800 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- für eine TSF ist im Mittel mit Instandhaltungskosten in Höhe von ca. 2.200 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu Instandhaltungskosten in Höhe von ca. 500 €/a.

Es ist anzumerken, dass manche Teile der Instandhaltung von der Straßenbauverwaltung in Eigenregie erbracht werden. Die Schätzung dieser Anteile und die Höhe des Umfangs dieser Leistung sind mit großen Unsicherheiten behaftet.

#### 4.4.4 Personalkosten

Personalkosten für die Betreuung der Anlage fallen im Wesentlichen in der VRZ des Landes an, von der aus die Anlage gesteuert und betreut wird.

Aus diesem Grund wurden die Personalkosten der VRZ des Landes erhoben, in dem die jeweilige Anlage installiert ist, und der entsprechende Anteil der VRZ-Kosten, der auf die Anlage entfällt. Diese Kostenspannen sind als Personalkosten der Straßenbauverwaltung in Bild 28 und Bild 31 im Kapitel

4.4.5 eingetragen. Bei den angegebenen Personalkosten handelt es sich um Schätzungen der Verwaltungen.

Obwohl SBAn weitgehend automatisch laufen, entstehen z. B. zusätzliche Personalkosten dadurch, dass die Operatoren Baustellen ins System einpflegen. Dem gegenüber stehen natürlich auch zusätzliche Nutzen beim Betrieb der Anlage durch Unterstützung der Baustellenführung durch die Anzeigen.

Außer den Personalkosten der Straßenbauverwaltung für die Betreuung der Anlage können in der Betriebsphase Aufwendungen für Justierung und Parametrierung der Steuerung der Anlage entstehen. Diese Kostenspannen sind als Justierungskosten externe Planer ebenso in Bild 28 und Bild 31 im Kapitel 4.4.5 eingetragen.

Die bisher vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Personalkosten in Höhe von ca. 25 €/a pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Personalkosten in Höhe von ca. 450 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- für eine TSF ist im Mittel mit Personalkosten in Höhe von ca. 5.800 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu Personalkosten in Höhe von ca. 700 €/a.

#### 4.4.5 Laufende Kosten in der Betriebsphase

Alle Kosten der Betriebsphase sind in Bild 28 bis Bild 31 zusammengetragen. Es handelt sich dabei um die laufenden Kosten, die pro Betriebsjahr an-

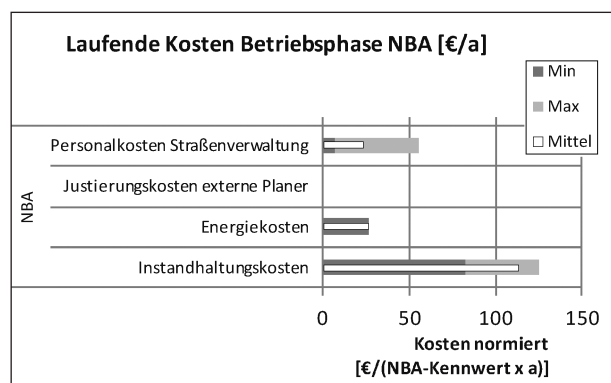


Bild 28: Gesamtkosten in der Betriebsphase bei NBA

fallen. Auch hier werden die Kostenspannen für alle vier Anlagentypen dargestellt.

Die entstandenen Personalkosten der Straßenbauverwaltung zur Betreuung der Anlage wurden bei allen drei NBA von Betreiber benannt. Der Umfang der benannten Aufwendungen schwankt stark: zwei der Anlagen liegen am unteren Ende und eine am oberen Ende der Skala.

Justierungskosten durch externe Planungsbüros sind keine angefallen. Energiekosten und Instandhaltungskosten wurden aus Kapitel 4.4.2 und Kapitel 4.4.3 übernommen.

Die angefallenen Personalkosten der Straßenbauverwaltung zur Betreuung der Anlage wurden bei

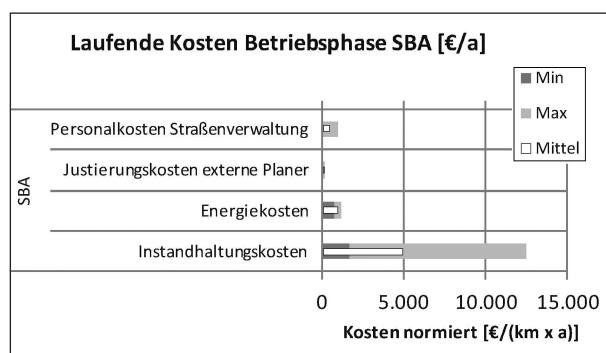


Bild 29: Gesamtkosten in der Betriebsphase bei SBA

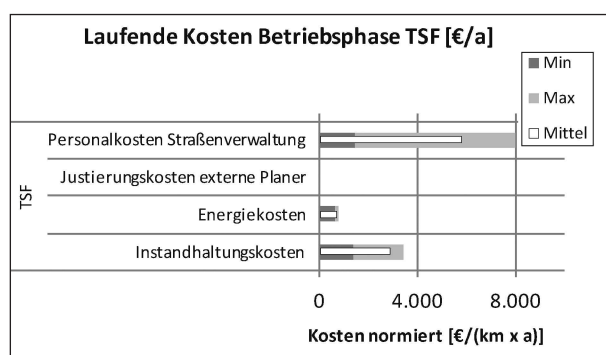


Bild 30: Gesamtkosten in der Betriebsphase bei TSFn

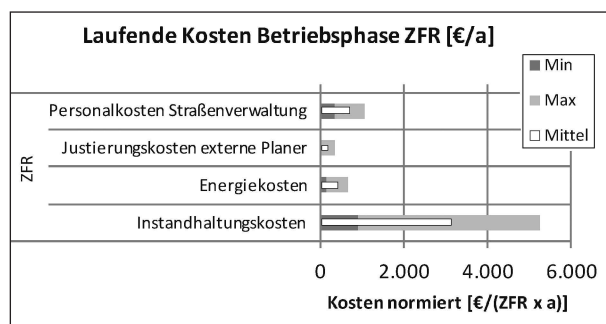


Bild 31: Gesamtkosten in der Betriebsphase bei ZFRn

fünf der sieben SBAn verifiziert. Kosten für Parameterjustierung durch externe Planungsbüros sind nur in zwei Fällen aufgetreten.

Energiekosten und Instandhaltungskosten wurden aus Kapitel 4.4.2 und Kapitel 4.4.3 übernommen.

Die angefallenen Personalkosten der Straßenbauverwaltung zur Betreuung der Anlage wurden bei einer der drei TSFn mit dem oben dargestellten Minimalwert benannt. Dagegen wurden die Personalkosten der beiden anderen TSFn mit dem oben dargestellten Maximalwert benannt.

Kosten für Parameterjustierung durch externe Planungsbüros sind keine angefallen. Energiekosten und Instandhaltungskosten wurden aus Kapitel 4.4.2 und Kapitel 4.4.3 übernommen.

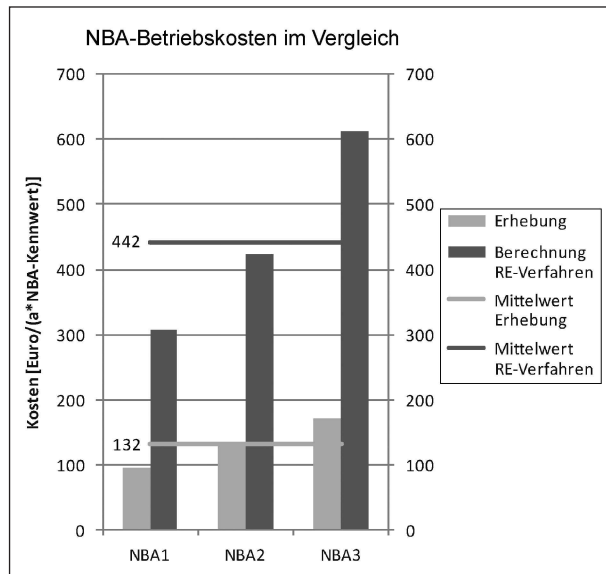
Die angefallenen Personalkosten der Straßenbauverwaltung zur Betreuung der Anlage wurden bei beiden ZFRn benannt. Kosten für Parameterjustierung durch externe Planungsbüros sind nur in einem Fall aufgetreten. Energiekosten und Instandhaltungskosten wurden aus Kapitel 4.4.2 und Kapitel 4.4.3 übernommen.

Zusätzlich treten bei neueren Anlagen Kommunikationskosten auf, die durch die Anbindung der Anlage oder Teile der Anlage mittels Mobilfunk-Kommunikation anfallen. Diese Art des Anschlusses bietet sich bei einzelliegenden Verkehrsdatenerfassungseinrichtungen oder Anzeigequerschnitten an, bei denen eine Anbindung an ein Datenübertragungskabel zu aufwändig wäre.

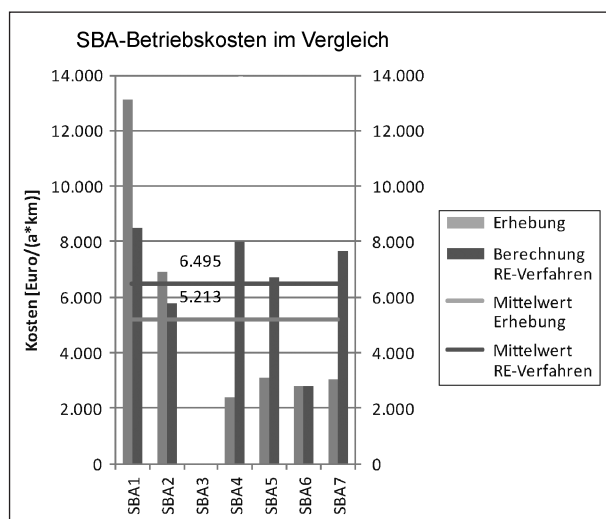
Die Höhe dieser Kosten ist jedoch hier nicht beziffert, da in den ausgewerteten Anlagen keine solchen angefallen sind. Sie müssen aber bei der Abschätzung der Kosten im Einzelfall berücksichtigt werden.

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit laufenden Kosten in der Betriebszeit in Höhe von ca. 155 €/a pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit laufenden Kosten in der Betriebszeit in Höhe von ca. 6.480 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- für eine TSF ist im Mittel mit laufenden Kosten in der Betriebszeit in Höhe von ca. 8.800 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,



**Bild 32:** Vergleich Schätzwerte laufende Kosten im Betrieb mit tatsächlichen Betriebskosten für NBAn



**Bild 33:** Vergleich Schätzwerte laufende Kosten im Betrieb mit tatsächlichen Betriebskosten für SBAn

- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu laufenden Kosten in der Betriebszeit in Höhe von ca. 1.780 €/a.

Alle hier genannten Zahlen basieren auf den Ergebnissen der Befragungen der Straßenbauverwaltung und beziehen sich deshalb auf die Vergangenheit. Aufgrund technischer Entwicklungen können sich erhebliche Änderungen in der Höhe der Kosten ergeben. Dies muss bei der Abschätzung der Kosten im Einzelfall berücksichtigt werden.

In der Vergangenheit wurden die laufenden Kosten in der Betriebsphase der VBAn mangels detaillierter Information gemäß RE-Entwurf mit 10 % der Investitionskosten ohne Tiefbaukosten grob abge-

schätzt. Diese Schätzungen (rote Balken) werden mit den erhobenen laufenden Kosten in der Betriebsphase (blaue Balken) in Bild 32 und Bild 33 gegenübergestellt (umgerechnet als normierte Werte).

Es zeigt sich, dass der bisher verwendete Schätzwert (10 % der Investitionskosten ohne Tiefbaukosten) bei den NBAn deutlich zu hoch liegt (ca. 3,3-facher Wert), während bei den SBAn die Schätzung mit nur ca. 20 % Abweichung in Anbetracht der nicht allzu großen Stichprobe mit den erhobenen laufenden Kosten in der Betriebsphase relativ gut übereinstimmt.

## 4.5 Kosten der Rückbauphase

### 4.5.1 Generelles

Ursprünglich wurden Erneuerungs- und Rückbauphase bei der Erhebung als gemeinsame Phase geführt und auch in der Erhebung gemeinsam behandelt. Dies ließ sich nicht durchhalten, da die Rückbau- und Erneuerungssituation bei den verschiedenen Anlagen sehr unterschiedlich ausfiel.

An dieser Stelle muss differenziert werden, ob eine Erneuerung oder Sanierung der Anlage durchgeführt wurde und welche Gründe hierfür im Wesentlichen ausschlaggebend waren. Oder ob die Anlage komplett rückgebaut wurde und welche Gründe hierfür maßgebend waren.

Bei der Erneuerung einer Anlage werden meistens Veränderungen vorgenommen. Das kann dazu führen, dass in der neuen Anlage neue Beeinflussungsmaßnahmen dazukommen oder wegfallen und somit die neue Anlage nicht mehr mit der alten Anlage vergleichbar ist.

In vielen Fällen wird auch eine Anlage erweitert oder verlängert. Auch hier muss berücksichtigt werden, dass nicht in allen Fällen eine Vergleichbarkeit mit dem Vorherzustand gegeben ist.

Wie sich aus der Erhebung ergeben hat, sind die folgenden Fälle zu unterscheiden:

1. -Die Anlage ist in Betrieb und die Betriebsdauer dauert auf nicht absehbare Zeit an (7 von 17 Anlagen).
2. -Austausch von Komponenten, weil inzwischen neuere Techniken marktreif sind, wie z. B. faseroptische WVZ durch LED-WVZ ersetzt oder

additive Wechselwegweiser durch dWiSta ersetzt (6 von 17 Anlagen).

3. -Komplette Erneuerung (2 von 17 Anlagen).
4. -Ausbau oder Erweiterung des betreffenden Abschnittes, so dass zukünftig ein Rückbau bestehender Anlagen (z. B. ZFR-Anlagen) erfolgen muss (2 von 17 Anlagen).

Im Fall 1 steht weder eine Erneuerung, noch ein Rückbau an.

Im Fall 2 werden Erneuerungen getätigt, wie dies etwa um 2004/2005 mit vielen NBAn geschehen ist. Dort wurden die vorhandenen additiven Wechselwegweiser durch dWiSta ersetzt. Fraglich bleibt, ob diese Erneuerung durchgeführt wurde, weil eine neue Technik auf den Markt kam oder weil die alten WVZ ihre Lebensdauer erreicht haben. Aus der Tatsache heraus, dass diese Erneuerung nahezu zeitgleich bei vielen NBAn getätigt wurde, wird vermutet, dass dies eher eine politische Entscheidung war, NBAn in Deutschland für die WM 2006 möglichst ein gleiches Erscheinungsbild zu geben.

Der Fall 3 betrifft eine 19 Jahre alte Anlage, bei der alle Komponenten erneuerungsbedürftig sind (auch die Schilderbrücken) und für manche Komponenten sogar schon eine Reihe von Jahren keine Ersatzteilbeschaffung mehr möglich war, sowie eine über 20 Jahre alte Anlage, bei der die gesamte Autobahn neu gebaut wird, teilweise mit Verlegung der Trasse. In beiden Fällen wird die Anlage komplett abgebaut und nichts davon weiterverwendet.

Lediglich der Fall 4 umfasst den klassischen Rückbau einer VBA aufgrund veränderter Randbedingungen, die eine VBA überflüssig machen.

Im Weiteren wird nur der reine Rückbau einer Anlage betrachtet, da eine Erneuerung bzw. Sanierung einer Anlage wieder zu einer neuen Anlage führt und der Lebenszyklus neu beginnt.

Im Zuge der Rückbauphase entstehen Personalkosten für die Betreuung des Rückbaus seitens der Straßenbauverwaltung und die Rückbaukosten durch Baufirmen.

#### 4.5.2 Bauüberwachungskosten in der Rückbauphase

Die Abschätzung der Personalkosten während der Rückbauphase wurde auf der Basis der Ergebnisse der Personalkosten der Straßenbauverwaltungen

in der Bauphase vorgenommen. Es wurden durchgängig 20 % der Kosten der Bauphase angesetzt.

Es ergeben sich die Kostenspannen für die in Bild 34 bis Bild 37 dargestellten Bauüberwachungskosten in der Rückbauphase.

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Rückbauüberwachungskosten in Höhe von ca. 10 € pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Rückbauüberwachungskosten in Höhe von ca. 950 € pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,
- für eine TSF ist im Mittel mit Rückbauüberwachungskosten in Höhe von ca. 950 € pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen,

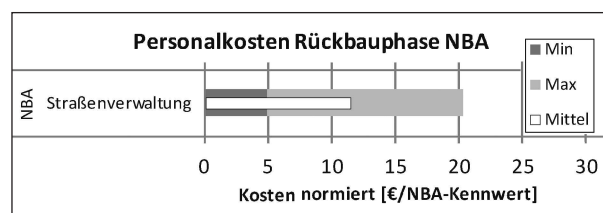


Bild 34: Rückbauüberwachungskosten für NBAn

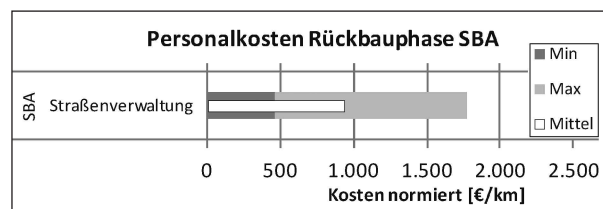


Bild 35: Rückbauüberwachungskosten für SBAn

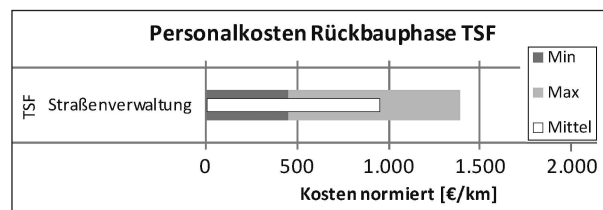


Bild 36: Rückbauüberwachungskosten für TSFn

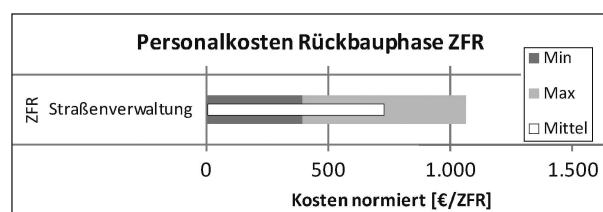


Bild 37: Rückbauüberwachungskosten für ZFRn

- eine einzelne ZFR führt im Mittel zu Rückbau-überwachungskosten in Höhe von ca. 700 €.

### 4.5.3 Rückbaukosten

Die Ermittlung der Rückbaukosten erfolgt analog zur Ermittlung der Investitionskosten. Je nach Anlagentyp wird in verschiedenen VBA-Komponenten unterschieden.

Wie für die Investitionskosten werden Standardrückbaukosten für alle VBA-Komponenten angegeben. Die Kostenermittlung erfolgte aus verschiedenen Projekten und aus den Expertengesprächen. Die Rückbaukosten der wichtigsten VBA-Komponenten sind mit ihren Kostenspannen in Bild 38 dargestellt.

Dabei ist zu beachten, dass i. d. R. sowohl die Sensoren zur Verkehrsdaten- als auch zur Umfelddatenerfassung oder Kameras nicht rückgebaut werden. Hierfür liegen deshalb also keine Angaben vor.

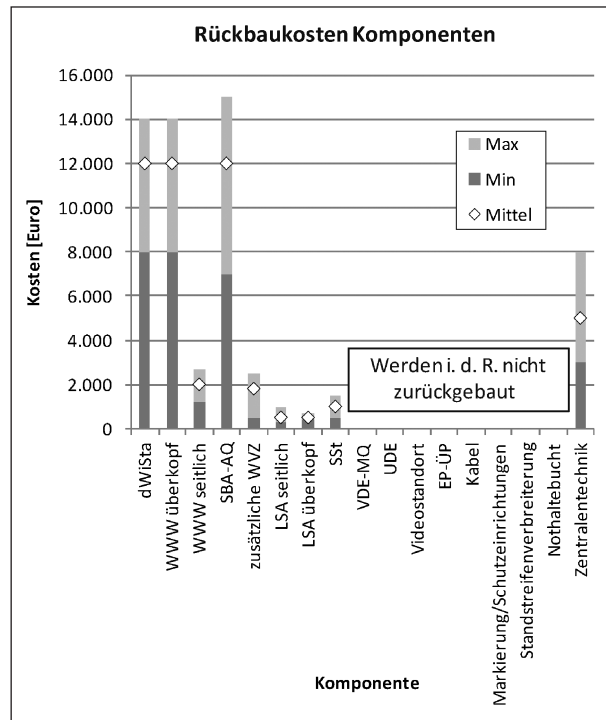


Bild 38: Rückbaukosten verschiedener VBA-Komponenten

## 4.6 Kosten in der Sanierungsphase

### 4.6.1 Generelles

Im Zuge der Sanierungsphase entstehen interne und externe Personalkosten (analog zur Planungsphase) sowie interne und externe Bauüberwachungskosten und Investitionskosten (analog zur Bauphase).

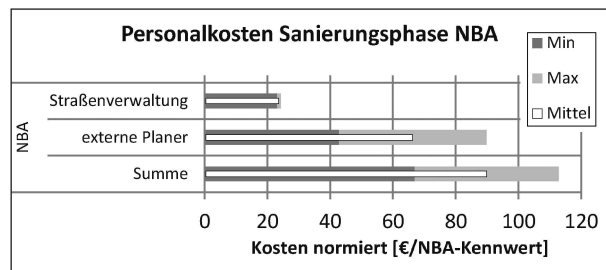


Bild 39: Personalkosten Sanierungsphase für NBA

### 4.6.2 Personalkosten

Hierzu liegen aus der Befragungsaktion Ergebnisse von zwei NBA und vier SBA Kosten vor (s. Bild 39 und Bild 40).

Die vorliegenden Auswertungen führen zu folgenden Ergebnissen:

- für eine NBA ist im Mittel mit Personalkosten in der Sanierungsphase in Höhe von ca. 90 €/a pro NBA-Kennwert zu rechnen,
- für eine SBA ist im Mittel mit Personalkosten in der Sanierungsphase in Höhe von ca. 1.700 €/a pro fahrtrichtungsbezogene Länge zu rechnen.

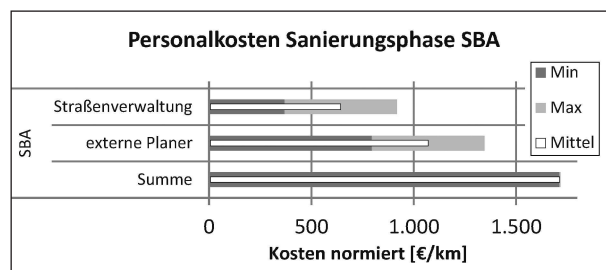


Bild 40: Personalkosten Sanierungsphase für SBA

Der einzige Unterschied besteht darin, dass u. U. nicht alles neu gebaut wird, sondern nur einzelne Komponenten ausgetauscht bzw. erneuert werden.

Die NBA-Sanierungen, die hier betrachtet wurden, umfassen alle den Austausch der additiven Wechselwegweiser durch dWiSta-Tafeln. In allen Fällen standen die alten Wegweiser seitlich neben der Fahrbahn, während die dWiSta-Tafeln jetzt überkopf installiert wurden, d. h. es sind auch die Auf-

### 4.6.3 Investitionskosten

Die Investitionskosten der Sanierung ermitteln sich gemäß den Investitionskosten beim Bau der Anlage.

stellvorrichtungen zu ersetzen; aber es ist auch der Fall denkbar, dass nur die Wegweiser ausgetauscht werden.

Bei den SBA-Erneuerungen werden teilweise nur die WVZ ersetzt, teilweise werden einzelne, zusätzliche Anzeigequerschnitte hinzugefügt und in einem Fall wird die komplette Anlage ersetzt.

Aus diesem Grund ist jeder Fall für sich zu betrachten und eine Verallgemeinerung nicht möglich.

## 5 Ermittlung der Nutzenkomponenten

### 5.1 Allgemeines

Die VBA befindet sich während der Lebensphase „Planung“ ausschließlich im Betriebszustand „Außer Betrieb“. Es entstehen in diesem Betriebszustand weder positive noch negative Nutzen, da die Verkehrsabläufe sich auf den relevanten Strecken nicht von der Situation ohne VBA unterscheiden. Auf eine Darstellung bzw. Entwicklung von Verfahren zur Nutzenermittlung kann daher a priori verzichtet werden.

Im Rahmen der Lebensphasen „Bau“ und „Rückbau“ können die Betriebszustände „Außer Betrieb“ und „Bau und Erhaltung“ auftreten. In beiden Betriebszuständen treten ebenfalls keine Nutzen auf.

In den letzten Monaten der Betriebsphase „Bau“ befindet sich das System im „Offenen Probebetrieb“. Während dieses Betriebes werden die Parameter der Steuerungsverfahren der Anlage kalibriert und optimiert. Hier kann bereits ein Nutzen auftreten, sofern die Anlage schnell gut funktioniert. Dieser Nutzen ist allerdings schwer quantifizierbar, da er von Anlage zu Anlage stark schwankt. Dies und die Tatsache, dass es sich beim „Offenen Probebetrieb“ um eine nur kurze Zeitdauer im Lebenszyklus der Anlage handelt, sind die Gründe, diesen Nutzen zu vernachlässigen.

Wie die Befragung der Straßenbauverwaltungen der Länder ergab, sind die negativen Nutzen des Betriebszustands „Bau und Erhaltung“ vernachlässigbar (vgl. Kapitel 5.6.1 und 5.6.2). Es wird deshalb auf die Entwicklung eines Berechnungsverfahrens verzichtet.

In der Lebensphase „Betrieb“ können alle definierten Betriebszustände auftreten.

Lebensphase	Betriebszustand	Nutzen
Planung	Ausser Betrieb	keine Nutzen
Bau	Ausser Betrieb	keine Nutzen
	Bau und Erhaltung	keine Nutzen
Betrieb	Normalbetrieb	Nutzen (s. Tabelle 8)
	Ausser Betrieb	keine Nutzen
	Bau und Erhaltung	keine Nutzen
Rückbau	Ausser Betrieb	keine Nutzen
	Bau und Erhaltung	keine Nutzen

Tab. 7: Nutzenübersicht im Zuge des Lebenszyklus'

Im „Normalbetrieb“ ist mit dem vollen Nutzen der Anlage zu rechnen. Im Betriebszustand „Außer Betrieb“ treten keinerlei Nutzen auf.

Somit reduzieren sich die Nutzen im Zuge des Lebenszyklus' ausschließlich auf die Nutzen in der Betriebsphase unter Normalbetrieb (vgl. Tabelle 7).

### 5.2 Betriebszustand „Normalbetrieb“

#### 5.2.1 Berechnungsverfahren für NBAn

Die bestehenden Verfahren des Hinweisepapiers (FGSV 2007, vgl. Kapitel 2.1.4) erlauben die Berechnung der Nutzenkomponenten „Nutzen aus Reisezeitersparnis“, „Nutzen aus Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten für Nutzer (außer Kraftstoff)“ und „Nutzen aus Kraftstoffersparnis“.

Die Berechnungsverfahren der beiden letztgenannten Nutzenkomponenten bzgl. der verwendeten Kostensätze für die Fahrzeugbetriebskosten und der Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs werden entsprechend den Vorgaben von BMVBS (2010) und des HBEFA 3.1 (vgl. Kapitel 2.1.7) aktualisiert bzw. überarbeitet.

Hierzu ist es erforderlich, typisierte Ganglinien für die einzelnen Streckenabschnitte anzugeben, um stundenbezogene Verkehrsstärken zu erhalten. Diese werden mit weiteren Informationen hinsichtlich Kapazität, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Klassifizierung der Strecke zur Berechnung der Nutzenkomponenten „Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen“ und „Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen“ verwendet.

NBAn beeinflussen Verkehrsteilnehmer direkt durch Routenempfehlungen. Die mit dieser Wirkungsweise verbundenen gezielten Verlagerungen



werden bereits über die vorhandenen Verfahren zur Nutzenermittlung abgedeckt.

Zur Ermittlung der Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere wird auf das Verfahren von BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) zurückgegriffen.

### 5.2.2 Berechnungsverfahren für SBAn

Das Hinweispapier (FGSV 2007, vgl. Kapitel 2.1.4) stellt Verfahren zur Ermittlung der Nutzen aus Reisezeitersparnis und Nutzen aus einer Reduktion der Unfallzahl und -schwere zur Verfügung, die für das hier behandelte Projekt übernommen werden können.

Hinsichtlich der Fahrleistungen und den daraus ableitbaren Nutzen aus der Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten für Nutzer (außer Kraftstoff) ist aus vorliegenden Untersuchungen von WALTHER et al. (2006, vgl. Kapitel 2.2.5) bekannt, dass sich diese zwischen Vergleichs- und Planfall geringfügig unterscheiden. Die Verlagerungseffekte sind jedoch so gering, dass auf eine weitere Betrachtung an dieser Stelle verzichtet wird. Es gibt derzeit keine geeigneten Methoden, um die daraus entstehenden Zusatznutzen mit hinreichender Genauigkeit und gleichzeitig vertretbarem Aufwand in das bisherige Vorgehen zur Nutzenermittlung zu integrieren.

Hinsichtlich der Emissionen (Luftschadstoffe und Klimagase) und Kraftstoffverbräuche werden Wirkungsunterschiede zwischen Vergleichs- und Planfall mittels des Verfahrens nach HBEFA 3.1 (vgl. Kapitel 2.1.7) ermittelt werden. Dazu müssen die ermittelten DTV-Werte für Vergleichs- und Planfall in stundenbezogene Verkehrsstärken mittels Ganglinien transformiert werden. Zusammen mit Daten zur Kapazität, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Klassifizierung der Strecken nach HBEFA liegen damit die notwendigen Eingangsdaten zur Ermittlung der Emissionen und Kraftstoffverbräuche vor.

### 5.2.3 Berechnungsverfahren für TSFn

Das Verfahren von ARNOLD (2001, vgl. Kapitel 2.2.3) zur Nutzenermittlung von SBA mit Seitenstreifenfreigabe ist das derzeit differenzierteste bzgl. der Nutzenermittlung von SBA mit Seitenstreifenfreigabe für den Betriebszustand „Normalbetrieb“. Es wurde von SSP Consult als AVP-Pro-

gramm umgesetzt (SSP 2002) und kann bei der BAST angefordert werden.

Das Verfahren ist darüber hinaus durch das ARS 12/2002 eingeführt. Aus diesen Gründen wurde entschieden, es zur Grundlage der weiteren Verfahrensentwicklung zu machen. Es wird für die Ermittlung der Nutzen in der Betriebsphase eingesetzt.

Hinsichtlich des Zielsystems und den daraus abgeleiteten Nutzenkomponenten werden alle Anforderungen erfüllt.

Im Verfahren werden die Kostensätze der EWS (1997) verwendet. Es wird daher vorgeschlagen, diese Parameter zu aktualisieren, sobald neue Kostensätze z. B. aus der Erstellung der RWS vorliegen.

### 5.2.4 Berechnungsverfahren für KBAn mit variabler Fahrsteifenzuteilung

Im Hinweispapier (FGSV 2007, vgl. Kapitel 2.1.4) wird ein Verfahren zur Berechnung der Nutzen aus Reisezeitersparnissen dargestellt, das von BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) als Excel-Tool umgesetzt wurde. Dieses Verfahren kann unverändert übernommen werden.

Die Quantifizierung des Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere kann über das entsprechende Verfahren von BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) erfolgen.

Da im Falle von KBAn Verkehrsströme in sehr kleinräumigen Abschnitten betrachtet werden, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass keine Verlagerungseffekte und keine nennenswerten Auswirkungen auf die Schadstoffemission vorliegen.

### 5.2.5 Berechnungsverfahren für KBAn mit Zuflussregelung

Die von BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) vorgestellten Verfahren zur Ermittlung des Nutzens aus Reisezeitersparnis und Reduzierung der Unfallzahl und -schwere können ohne Modifikationen in das Gesamtverfahren aufgenommen werden.

Hinsichtlich eventueller Verlagerungswirkungen sowie Veränderungen von Luftschadstoff- und Klimagasemissionen sowie Kraftstoffverbräuchen gelten für KBA mit Zuflussregelung grundsätzlich

ebenfalls die im Kapitel 5.2.4 dargelegten Anmerkungen zu KBA mit variabler Fahrstreifenuteilung.

### 5.3 Konzeption des Berechnungsverfahrens

Auf der Basis der bisherigen Erkenntnisse wird ein anlagenspezifisches Konzept zur Nutzerermittlung für den Betriebszustand „Normalbetrieb“ entwickelt.

Im großen Ganzen werden die Verfahren des Hinweisepapiers (FGSV 2007, vgl. Kapitel 2.1.4) als Grundlage für die weiteren Arbeiten herangezogen. Die von BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) entwickelten Excel-Tools für NBAn und SBAn beziehen sich auf das eingeschränkte Zielsystem von FGSV (2007, vgl. Kapitel 2.1.4) und beinhalten daher ausschließlich die Entwicklung von Verfahren zur Quantifizierung der Nutzenkomponenten

- Nutzen aus Reisezeitersparnissen,
- Nutzen aus Reduzierung der Unfallzahl und -schwere.

Diese Verfahren werden um die Nutzenkomponenten

- Nutzen aus Kraftstoffersparnis,
- Nutzen aus der Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten für Nutzer (außer Kraftstoff),

- Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen,
- Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen ergänzt (vgl. Tabelle 8).

Für TFSn wird das Verfahren von ARNOLD (2001, vgl. Kapitel 2.2.3) verwendet, das 2002 von SSP Consult als Programmsystem AVP umgesetzt wurde (vgl. Tabelle 8).

Für ZFRn werden wiederum Excel-Tools von BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) eingesetzt. Hier wird auf eine Ergänzung der Verfahren zur Ermittlung der Nutzenkomponenten

- Nutzen aus Kraftstoffersparnis,
- Nutzen aus der Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten für Nutzer (außer Kraftstoff),
- Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen,
- Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen

verzichtet, da es sich bei Knotenpunktsbeeinflussungsanlagen um örtlich kleinräumige Anlagen handelt, durch die weder nennenswerte Ersparnisse von Fahrzeugbetriebskosten, noch nennenswerte Luftschadstoff- bzw. Klimagasreduktionen zu erwarten sind (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8 zeigt auf einen Blick mit welchen Verfahren die Nutzenkomponenten der einzelnen Anlagentypen berechnet werden.

		Nutzenkomponenten			
		Verkehrsfluss			Verkehrssicherheit
		Reisezeitersparnis	Kraftstoffersparnis	Reduktion Luftschadstoff- und Klimagasemiss.	Reduzierung Unfallzahl-/Unfallschwere
Netzbeeinflussung	WWW dWiSta	TUM Tool gemäß FGSV	HBEFA	HBEFA	TUM Tool gemäß FGSV 2007
Streckenbeeinflussung	ohne TSF	TUM Tool gemäß FGSV 2007	HBEFA	HBEFA	TUM Tool gemäß FGSV 2007
	mit TSF	AVP 2002			
Knotenbeeinflussung	ZFR	TUM Tool	entfällt	entfällt	TUM Tool

Grau unterlegte Felder sind vorhandene Tools  
Hellgrau unterlegte Felder sind neue Tools  
(HBEFA – Handbook Emission Factors for Road Transport)

Tab. 8: Basis der Nutzenermittlung in der Betriebsphase „Normalbetrieb“

### 5.3.1 Erforderliche Daten für - Berechnungsverfahren für NBA

Grundlage ist das Verfahren nach FGSV (2007, vgl. Kapitel 2.1.4) und BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6), das Verfahren nach HBEFA 3.1 (vgl. Kapitel 2.1.7) sowie die Anmerkungen des Kapitels 5.2.1:

- Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (Hauptroute und Alternativrouten) mit Definition des Verkehrsangebots im Vergleichs- und Planfall:
  - Streckenlänge,
  - Streckenkapazität,
  - zul. Höchstgeschwindigkeit,
  - Straßenkategorie,
  - Anzahl Fahrstreifen,
  - Seitenstreifen,
  - Art der Richtungstrennung,
  - planfreie/plangleiche Streckenführung.
- Ermittlung des DTV und SV-Anteils (modell- und erhebungsbasiert) für das Untersuchungsgebiet für Vergleichsfall,
- Aufteilung des DTV am Entscheidungspunkt auf Ziele und Routen gemäß den NBA-Zielangaben für den Vergleichsfall,
- Ableitung repräsentativer stundenbezogener Verkehrsszenarien und ihres prozentualen Anteils am DTV über Ganglinien für den Vergleichsfall,
- Analyse von Störfalldaten (inkl. Information zur Örtlichkeit der Störung und des Zeitpunktes), Definition von Störfallszenarien und ihrer jahresbezogenen Häufigkeiten, Zuordnung zu Verkehrsszenarien,
- Ableitung störungsfalltyp- und verkehrsszenariobezogener stündlicher Verkehrsstärken unter Berücksichtigung der NBA-Schaltungen und tabellierten Befolungsraten für den Planfall,
- Ableitung von Geschwindigkeiten für Vergleichs- und Planfall nach dem Verfahren von ZACKOR (2001) oder ggf. auf Basis von q-v-Beziehungen (nach EWS-, BVWP- oder RWS-Methodik),
- Nutzenermittlung inkl. Hochrechnung entsprechend der Häufigkeiten der Störfälle:
  - Nutzen aus Reisezeitersparnis: Ableitung der strecken- und szenariobezogenen Reisezeiten aus den stundenbezogenen Geschwindigkeiten und den Streckenlängen für Vergleichs- und Planfall nach FGSV (2007), Multiplikation mit Zeitkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten für Nutzer (außer Kraftstoff): Strecken- und szenariobezogene Ermittlung der Fahrleistungen auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken und Streckenlänge für Vergleichs- und Planfall nach FGSV (2007), Multiplikation mit fahrleistungsabhängigen Kostensätzen von Fahrzeugbetriebskosten nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Kraftstoffersparnis: Strecken- und szenariobezogene Ermittlung der Kraftstoffverbräuche auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit Kraftstoffkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen: Strecken- und szenariobezogene Ermittlung der Emissionen der Schadstoffe PM10 und NOX auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit schadstoffspezifischen Kostensätzen nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen: Strecken- und szenariobezogene Ermittlung der Emissionen des Klimagases CO2 auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit CO2-Kostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere: Strecken- und szenariobezogene Ermittlung der Fahrleistungen auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken und Streckenlänge für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit Unfallkostenraten nach BUSCH et al. (2009) und Unfallkostensätzen nach BMVBS (2010).
- Addition der jahresbezogenen Nutzen, -

- Ermittlung der durchschnittlichen Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“.

Zur Durchführung der Nutzenermittlung für NBA sind die in Anlage 2.1 aufgeführten Eingangsdaten erforderlich.

### 5.3.2 Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für SBA ohne Seitenstreifenfreigabe

Grundlage ist das Verfahren nach FGSV (2007, vgl. Kapitel 2.1.4), das HBEFA 3.1 (vgl. Kapitel 2.1.7) sowie die Anmerkungen des Kapitels 5.2.2:

- Abgrenzung der Untersuchungsstrecke mit Definition des Verkehrsangebots im Vergleichs- und Planfall:
  - Streckenlänge,
  - Streckenkapazität,
  - zul. Höchstgeschwindigkeit,
  - Straßenkategorie,
  - Anzahl Fahrstreifen,
  - Seitenstreifen,
  - Art der Richtungstrennung,
  - planfreie/plangleiche Streckenführung.
- Ermittlung des DTV für die Untersuchungsstrecke für Vergleichs- und Planfall,
- Ableitung stundenbezogener Verkehrsstärken (nach EWS-, BVWP- oder ggf. RWS-Methodik),
- Erhebung von Unfalldaten dreier Jahre mit Angabe der Unfallkategorie, des Unfalltyps, der Witterungsbedingungen und den beteiligten Fahrzeugen,
- Erhebung von Störungsdaten eines Jahres mit Angabe der Ursache, der Dauer und der Länge des Staus,
- Ggf. Erhebung stundenbezogener Verkehrsstärken des Zeitraums der vorliegenden Unfalldaten,
- Nutzenermittlung inkl. Hochrechnung entsprechend der Häufigkeiten der Störfälle:
  - Nutzen aus Reisezeitersparnis: Ableitung der strecken- und ursachenbezogenen Reisezeiten aus den Störfall- und Unfalldaten sowie ggf. den zugehörigen stundenbezogenen Verkehrsstärken für den Vergleichsfall nach FGSV (2007), pauschale Abschätzung der Reisezeitersparnis für den Planfall nach FGSV (2007), Multiplikation mit Zeitkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Kraftstoffersparnis: streckenbezogene Ermittlung der Kraftstoffverbräuche auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit Kraftstoffkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen: streckenbezogene Ermittlung der Emissionen der Schadstoffe PM10 und NOX auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit schadstoffspezifischen Kostensätzen nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen: streckenbezogene Ermittlung der Emissionen des Klimagases CO<sub>2</sub> auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit CO<sub>2</sub>-Kostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere: Ermittlung der Unfallrate für Unfälle mit Personenschäden außerhalb von Zeiträumen mit Nebel nach FGSV (2007), Multiplikation mit Fahrleistungen, Anzahl Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden nach FGSV (2007), Anzahl Unfälle mit Personenschäden innerhalb von Zeiträumen mit Nebel jeweils im Vergleichs- und Planfall nach FGSV (2007), für Vergleichsfall aus erhobenen Daten, für Planfall über Reduktionsraten nach FGSV (2007), Multiplikation mit Unfallkostensätzen nach BMVBS (2010),
- Addition der jahresbezogenen Nutzen,
- Ermittlung der durchschnittlichen Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“.

Zur Durchführung der Nutzenermittlung für SBA ohne TSF sind die in Anlage 2.2 aufgeführten Eingangsdaten erforderlich.

### 5.3.3 Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für SBA mit Seitenstreifen - freigabe

Basis für die Entwicklung ist das Verfahren nach ARNOLD (2001, vgl. Kapitel 2.2.3), die Ansätze des HBEFA 3.1 (vgl. Kapitel 2.1.7) und die Anmerkungen des Kapitels 5.2.3:

- Abgrenzung der Untersuchungsstrecke bzw. ihrer Streckenabschnitte mit Definition des Verkehrsangebots im Vergleichs- und Planfall:
  - Abschnitts- und Unterabschnittslänge,
  - Abschnitts- und Unterabschnittskapazität,
  - Längsneigung der Abschnitte und Unterabschnitte,
  - zul. Höchstgeschwindigkeit der Abschnitte und Unterabschnitte,
  - Straßenkategorie der Abschnitte und Unterabschnitte,
  - Anzahl Fahrstreifen der Abschnitte und Unterabschnitte,
  - Seitenstreifen der Abschnitte und Unterabschnitte,
  - Art der Richtungstrennung der Abschnitte und Unterabschnitte.
- Ermittlung des DTV für die Untersuchungsstrecke für den Istzustand sowie den Vergleichs- und Planfall,
- Ableitung stundenbezogener Verkehrsstärken (über Nachfrageganglinien oder Ganglinien benachbarter Dauerzählstellen, ggf. auch nach EWS-, BVWP- oder ggf. RSW-Methodik),
- Ableitung von Geschwindigkeiten für Vergleichs- und Planfall auf Basis von q-v-Beziehungen (nach Lemke (2003) oder ggf. nach EWS-, BVWP- oder RSW-Methodik),
- Ermittlung der kategoriespezifischen Unfallzahlen dreier Jahre,
- Nutzenermittlung inkl. Hochrechnung entsprechend der bzgl. der Ableitung stundenbezogener Verkehrsstärken gewählten Vorgehensweise auf Jahreswerte:
  - Nutzen aus Reisezeitersparnis: Ableitung der streckenbezogenen Reisezeiten aus den ermittelten Geschwindigkeiten und den Streckenlängen für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit Zeitkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Kraftstoffersparnis: Streckenbezogene Ermittlung der Kraftstoffverbräuche auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten nach ARNOLD (2001) oder nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit Kraftstoffkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen: Streckenbezogene Ermittlung der Emissionen der Schadstoffe CO, HC, NOX, SO2 und Staub nach ARNOLD (2001) oder streckenbezogene Ermittlung der Emissionen der Schadstoffe PM10 und NOX nach HBEFA 3.1, jeweils auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit schadstoffspezifischen Kostensätzen nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen: Streckenbezogene Ermittlung der Emissionen des Klimagases CO2 nach ARNOLD (2001) oder streckenbezogene Ermittlung des Klimagases CO2 nach HBEFA 3.1, jeweils auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit schadstoffspezifischen Kostensätzen nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere: Ermittlung der kategoriespezifischen Unfallrate aus Daten der Erhebung, Abschätzung der Änderung der Unfallrate nach ARNOLD (2001), Multiplikation der Unfallrate des Vergleichs- und Planfalls mit jeweiligen Fahrleistungen, Multiplikation mit Unfallkostensätzen nach BMVBS (2010),
  - Addition der jahresbezogenen Nutzen,
  - Ermittlung der durchschnittlichen Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“.

Zur Durchführung der Nutzenermittlung für SBA mit TSF sind die in Anlage 2.3 aufgeführten Eingangsdaten erforderlich.

### 5.3.4 Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für SBA mit Richtungswechselbetrieb

Grundlage ist das Verfahren nach FGSV (2007, vgl. Kapitel 2.1.4), das entsprechend angepasst werden muss. Weitere Grundlage ist das HBEFA 3.1 (vgl. Kapitel 2.1.7):

- Abgrenzung der Untersuchungsstrecke mit Definition des Verkehrsangebots im Vergleichs- und Planfall:
  - Streckenlänge,
  - Streckenkapazität,
  - zul. Höchstgeschwindigkeit,
  - Straßenkategorie,
  - Anzahl Fahrstreifen,
  - Seitenstreifen,
  - Art der Richtungstrennung,
  - planfreie/plangleiche Streckenführung.
- Ermittlung des DTV für die Untersuchungsstrecke,
- Ableitung stundenbezogener Verkehrsstärken (nach EWS-, BVWP- oder ggf. RSW-Methodik),
- Erhebung von Unfalldaten dreier Jahre mit Angabe der Unfallkategorie, des Unfalltyps, der Witterungsbedingungen und den beteiligten Fahrzeugen,
- Erhebung von Störungsdaten eines Jahres mit Angabe der Ursache, der Dauer und der Länge des Staus,
- Ggf. Erhebung stundenbezogener Verkehrsstärken des Zeitraums der vorliegenden Unfalldaten,
- Nutzenermittlung inkl. Hochrechnung entsprechend der Häufigkeiten der Störfälle:
  - Nutzen aus Reisezeitersparnis: Ableitung der strecken- und ursachenbezogenen Reisezeiten aus den Störfall- und Unfalldaten sowie ggf. den zugehörigen stundenbezogenen Verkehrsstärken für den Vergleichsfall nach FGSV (2007), pauschale Abschätzung der Reisezeitersparnis für den Planfall nach FGSV (2007), Multiplikation mit Zeitkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Kraftstoffersparnis: Streckenbezogene Ermittlung der Kraftstoffverbräuche auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit Kraftstoffkostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen: Streckenbezogene Ermittlung der Emissionen der Schadstoffe PM10 und NOX auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit schadstoffspezifischen Kostensätzen nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen: Streckenbezogene Ermittlung der Emissionen des Klimagases CO2 auf der Basis stundenbezogener Verkehrsstärken nach HBEFA 3.1 für Vergleichs- und Planfall, Multiplikation mit CO2-Kostensatz nach BMVBS (2010),
  - Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere: Ermittlung der Unfallrate für Unfälle mit Personenschäden außerhalb von Zeiträumen mit Nebel nach FGSV (2007), Multiplikation mit Fahrleistungen, Anzahl Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden nach FGSV (2007), Anzahl Unfälle mit Personenschäden innerhalb von Zeiträumen mit Nebel jeweils im Vergleichs- und Planfall nach FGSV (2007), für Vergleichsfall aus erhobenen Daten, für Planfall über Reduktionsraten nach FGSV (2007), Multiplikation mit Unfallkostensätzen nach BMVBS (2010),
- Addition der jahresbezogenen Nutzen,
- Ermittlung der durchschnittlichen Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“.

Zur Durchführung der Nutzenermittlung für SBA mit Richtungswechselbetrieb sind die in Anlage 2.4 aufgeführten Eingangsdaten erforderlich.

### 5.3.5 Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für KBA mit variabler Fahrstreifenzuteilung

Das vorgestellte Konzept zur Nutzenberechnung basiert maßgeblich auf den Verfahren von FGSV (2007, vgl. Kapitel 2.1.4), BUSCH et al. (2009, vgl. Kapitel 2.1.6) und den Anmerkungen des Kapitels 5.2.4:

- Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (Rampe, Hauptfahrbahn und Einfahrbereich) mit Definition des Verkehrsangebots der Teilstrecken im Vergleichs- und Planfall mit folgenden Eingangsdaten:
  - relevante Streckenlänge,
  - Streckenkapazität,
  - zul. Höchstgeschwindigkeit,
  - Straßenkategorie,
  - Anzahl Fahrstreifen.
- Erhebung von q-v-Werten inkl. SV-Anteil (15-min-Intervalle; Erhebungsdauer: mind. 3 Monate) für Hauptfahrbahn (stromaufwärts) und Rampe,
- Zusammenfassung der Verkehrsbelastungsdaten zu relevanten Verkehrsbelastungsfällen inkl. Abschätzung ihrer auf ein Jahr bezogenen Häufigkeiten und der Grenzverkehrsbelastungen,
- Ermittlung der Kapazitäten für Hauptfahrbahn (stromaufwärts) und des Einfahrbereichs im Vergleichs- und Planfall auf Basis der erhobenen q-v-Daten oder des HBS (2009),
- Erhebung von Unfalldaten dreier Jahre inkl. Kategorie, Typ, Ursache und Art,
- Nutzenermittlung für einen repräsentativen Tag inkl. Hochrechnung entsprechend der Häufigkeiten der Verkehrsbelastungsfälle:
  - Nutzen aus Reisezeitersparnis: Ermittlung der Reisezeiten auf der Rampe, Hauptfahrbahn (stromaufwärts) und des Einfahrbereichs für Vergleichs- und Planfall entsprechend dem Verfahren nach FGSV (2007) unter Berücksichtigung der fallspezifischen Kapazitäten und zugehörigen Geschwindigkeiten, ggf. weitere Differenzierung der Geschwindigkeiten,
  - Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere: Ermittlung der „adressierbaren“ Unfälle aus erhobenen Daten nach BUSCH et al. (2009), Multiplikation mit Unfallkostensätzen nach BMVBS (2010).
- Addition der jahresbezogenen Nutzen,
- Ermittlung der durchschnittlichen Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“.

Zur Durchführung der Nutzenermittlung für KBA mit vFSZ sind die in Anlage 2.5 aufgeführten Eingangsdaten erforderlich.

### 5.3.6 Erforderliche Daten für Berechnungsverfahren für KBA mit Zuflussregelung

Das Konzept zur Nutzenermittlung für KBA mit Zuflussregelung basiert auf den diesbezüglichen Teilen der Untersuchung von BUSCH et al. (2009) (vgl. Kapitel 2.1.6 und den Anmerkungen des Kapitels 5.2.5):

- Abgrenzung des Untersuchungsgebietes (Rampe, Hauptfahrbahn stromabwärts und Hauptfahrbahn stromaufwärts) mit Definition des Verkehrsangebots der Teilstrecken im Vergleichs- und Planfall mit folgenden Eingangsdaten:
  - relevante Streckenlänge,
  - Streckenkapazität,
  - zul. Höchstgeschwindigkeit,
  - Straßenkategorie,
  - Anzahl Fahrstreifen.
- Definition der Umlaufzeit, der Grünzeit und der Bedienungsrate der LSA und der für die Aktivierung der KBA relevanten Belastungssituationen (Beeinflussungsfall 1 bis 4) hinsichtlich der Verkehrsstärken der Rampe und Hauptfahrbahn (stromaufwärts),
- Erhebung von q-v-Werten inkl. SV-Anteil (15-min-Intervalle; Erhebungsdauer: mind. 3 Monate) für Hauptfahrbahn (stromaufwärts) und Rampe,
- Erhebung von Unfalldaten dreier Jahre inkl. Kategorie, Typ, Ursache und Art,
- Nutzenermittlung für einen repräsentativen Tag inkl. Hochrechnung entsprechend der Häufigkeiten der Verkehrsbelastungsfälle:
  - Nutzen aus Reisezeitersparnis: Ermittlung der Reisezeiten auf der Rampe und der Hauptfahrbahn für Vergleichs- und Planfall sowie der Wartezeiten auf der Rampe für den Planfall entsprechend dem Verfahren nach FGSV (2007) unter Berücksichtigung der gemessenen zugehörigen Geschwindigkeiten und des Schaltprogramms der LSA,

- Nutzen aus Reduktion der Unfallzahl und -schwere: Ermittlung der „adressierbaren“ Unfälle aus erhobenen Daten nach BUSCH et al. (2009), Multiplikation mit Unfallkostensätzen nach BMVBS (2010).
- Addition der jahresbezogenen Nutzen,
- Ermittlung der durchschnittlichen Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“.

Zur Durchführung der Nutzenermittlung für KBA mit ZFR sind die in Anlage 2.6 aufgeführten Eingangsdaten erforderlich.

## 5.4 - Nutzeinschränkungen in der Betriebsphase

### 5.4.1 Ausfälle

Im Rahmen der Befragung der Länderverwaltungen wurden zusätzlich zu den Kosten der Anlagen auch die Einschränkungen der Nutzen während der Betriebsdauer der Anlage durch Ausfälle der Anlage durch Ausfall von einzelnen Komponenten, der Datenübertragung oder der Energieversorgung erhoben (vgl. Fragebogen in Anlage 1). Dies war erforderlich, um die genauen Nutzen während der Betriebsdauer zu bestimmen.

Ausfälle wurden nur für vereinzelte Anlagen genannt (siehe Bild 41). Von den meisten Betreibern wurde versichert, dass es keine Ausfälle während der Betriebszeit gab.

SBA sind in der Regel immer im Einsatz (sie zeigen oftmals auch ohne Verkehrsbelastung einen Grundzustand an). NBA, TSFn und ZFRn sind

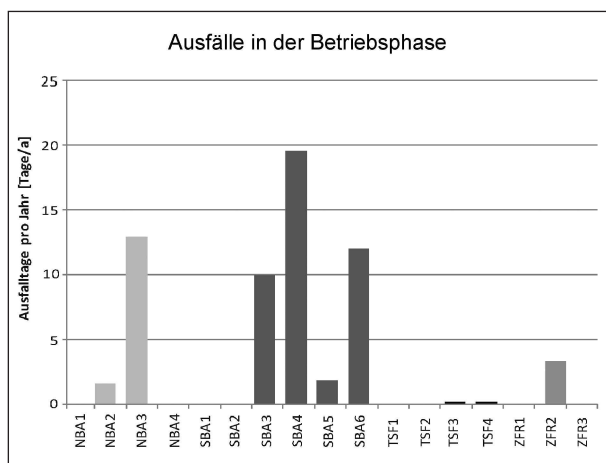


Bild 41: Ausfälle der Anlagen in der Betriebsphase

meist nur mehrere Stunden am Tag in Betrieb. Da die Ausfalltage sich jedoch auf Kalendertage beziehen, ist es gleichgültig, wie lange die tatsächliche Betriebszeit der jeweiligen Anlage beträgt.

Da die Stichprobe nur sehr gering ist und die Schwankungen sehr stark von den einzelnen Anlagen abhängen, kann kein konkretes Muster erkannt werden, wie häufig welcher Anlagentyp ausfällt.

Die Tatsache, dass durch SBAn, TSFn und ZFRn rechtsverbindliche Anzeigen geschaltet werden, verlangt eine sehr hohe Verfügbarkeit der Anlage. Dies schlägt sich auch in der Abfassung der Instandhaltungsverträge nieder. Hier wird i. d. R. eine Verfügbarkeit von 99,9 % verlangt. Bei NBA sind i. d. R. keine so hohen Verfügbarkeiten vereinbart.

Mit zunehmender Betriebsdauer der Anlage werden sich die Ausfälle verstärken und gegen Ende der Betriebsphase häufen – insbesondere wenn der Wartungsvertrag ausgelaufen ist. Um diesen Effekt zu darzustellen und im Berechnungsverfahren zu berücksichtigen, wurde ein Vorgehen gemäß Bild 42 entwickelt. Damit kann ein dreistufiges Altern der Anlage abgebildet werden.

Diese drei Stufen – innerhalb der Betriebsphase – geben die Vitalitätszustände der Anlage wider:

1. -voll funktionstüchtig (solange eine regelmäßige Instandhaltung erfolgt),
2. -eingeschränkt funktionstüchtig (solange nur noch eine sporadische Instandhaltung erfolgt),
3. -bedingt funktionstüchtig (sofern einzelne Bauteile der Anlage bereits ausgefallen sind).

Bei vielen Straßenbauverwaltungen werden Anlagen bereits still gelegt, bevor sie die Stufe drei erreicht haben.

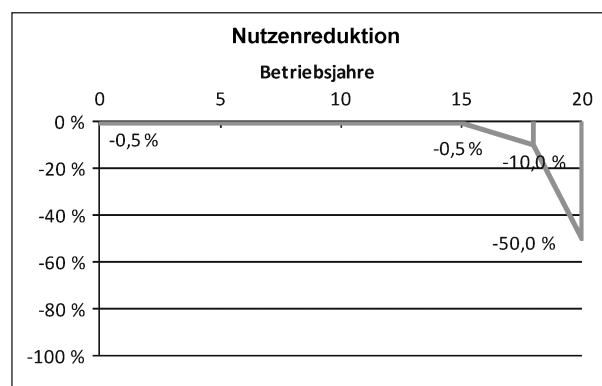


Bild 42: Nutzeinschränkungen in der Betriebsphase infolge des Alters



Aufgrund der bestehenden Wartungsverträge wird bei SBAn, TSFn und ZFRn grundsätzlich in den ersten Betriebsjahren ein Ausfall von nur 44 Stunden/Jahr (entspricht 0,5 %) angesetzt; bei NBAn von 2,0 %.

Als Standardwerte für eine SBA gelten die folgenden Werte:

- $t_1$  15 Jahre (solange eine regelmäßige Instandhaltung erfolgt)
- $t_2$  empfohlene maximale Betriebszeit (siehe Kapitel 6.1.4)
- $t_3$  maximale Betriebszeit (20 Jahre)
- $a_1$  -0,5 %
- $a_2$  -10 %
- $a_3$  -50 %
- mit
- $t$  Zeitpunkt nach Inbetriebnahme
- $a$  Nutzenreduktion in %

Auf diese Weise werden die Nutzeneinschränkungen in der Betriebsphase durch Anlagenausfälle abgeschätzt und der berechnete Nutzen reduziert.

#### 5.4.2 Pannenfahrzeuge oder Unfälle

Vor Schaltung einer TSF muss aus Sicherheitsgründen eine Überprüfung des Seitenstreifens auf Hindernisfreiheit erfolgen. Sollte dieser z. B. durch Pannenfahrzeuge belegt sein kann keine Einschaltung erfolgen und die Räumung des Seitenstreifens muss abgewartet werden.

Nach Aussagen des Betreibers nimmt diese Wartezeit etwa 10 % der Zeiten in Anspruch, in denen es wünschenswert gewesen wäre, die TSF zu schalten.

Diese Nutzenreduktion um ca. 10 % bei TSFn wird daher im Berechnungsverfahren berücksichtigt.

### 5.5 Betriebszustand „Außer Betrieb“

Im Betriebszustand „Außer Betrieb“ treten keine Nutzen auf.

### 5.6 Betriebszustand „Bau und Erhaltung“

#### 5.6.1 Nutzeneinschränkungen in der Bauphase

Während der Bauphase entstehen eventuell Störungen im Verkehrsablauf, die durch den Bau der Anlage bedingt sind. Deshalb wurde allen Betreibern auch die Frage nach Störungen im Verkehrsablauf durch die Bautätigkeit gestellt.

Auf diese Frage gab es nur in 6 von den 17 rückläufigen Fragebögen Antworten. Seitens einiger Verwaltungen wurde versucht, zu beschreiben wie der Bauablauf erfolgt sein könnte (siehe folgende Zitate):

„Für die Fertigung der Mittelstreifenfundamente dürfte etwa eine Woche jeweils für wenige Stunden jeweils der linke Fahrstreifen weggenommen worden sein (Aushub, Armierung, Schalung; Betonage; Ausschalung). Dies dürfte aber außerhalb der Stoßzeiten geschehen sein, so dass es zu keinen wesentlichen Störungen gekommen sein dürfte. Für das Einheben wurde wahrscheinlich die BAB 2 mal in der Nacht für etwa 20 Minuten vollgesperrt (extrem verkehrsschwache Zeit).“

„In der Regel erfolgte der Bau vom Standstreifen aus, wodurch keine Fahrspuren gesperrt werden mussten. Lediglich an 3 Standorten sind Prismenwender im Mittelstreifen mit Fahrspursperrungen montiert worden. Dies erfolgte vermutlich gemeinsam mit dem SBA-Anteil. Daher sind beim Bau der Verkehrstechnik vermutlich kaum Staus verursacht worden. Auf die Dauer von 60 Tagen wurde der Standstreifen in Abschnitten gesperrt (Straßenbau).“

„Zehn Vollsperrungen, alle nachts, mit bis zu jeweils 60 Stunden Sperrzeit. Keine nennenswerten Störungen.“

„Für das Schneiden der Induktionsschleifen in den Rampen mussten die Rampen in der Nacht von Samstag auf Sonntag für jeweils mehrere Stunden gesperrt werden. Der Verkehr wurde über das nachgeordnete Netz auf die anderen Anschlussstellen umgeleitet (kein Stau, Umweg 1,5 km parallel zur Autobahn). Ansonsten konnte der Bau neben der Fahrbahn ohne Behinderung des Verkehrs abgewickelt werden. Für das Schneiden der Induktionsschleifen auf der Hauptfahrbahn waren einzelne Fahrspursperrungen insgesamt ca. 3 x 4 Stunden erforderlich, die in verkehrssarmen Zeiten

(nachts) erfolgt sind und daher kaum Staus verursacht haben.“

„In der Regel finden 95 % aller Bauarbeiten abseits der Fahrbahn statt. Verkehrszeichenbrückenriegel werden i. d. R. nachts auf den fertiggestellten Brückenstilen montiert. Dies geschieht innerhalb von 20 Minuten, in denen eine Vollsperrung der Autobahn notwendig ist.“

Kernaussage ist, dass es während der Bauzeit keine nennenswerten Störungen im Verkehrsablauf (und somit negative Nutzen) gegeben hat. Dass während des Baus Staus entstanden sein könnten, wurde von keinem Betreiber bestätigt.

Aus diesem Grunde wird im Weiteren davon ausgegangen, dass die negativen Nutzen in der Bauzeit vernachlässigbar sind und bei der weiteren Betrachtung entfallen können.

### 5.6.2 Nutzeinschränkungen in der Rückbauphase

Wie in der Bauphase entstehen auch während der Rückbauphase eventuell Störungen im Verkehrsablauf, die durch Bauarbeiten an der Anlage bedingt sind.

Ein solcher Zusammenhang konnte durch die Befragung nicht bestätigt werden, so dass die Betrachtung negativer Nutzen in der Rückbauphase (wie in Kapitel 5.6.1 bei der Bauphase) vernachlässigbar sind und nachfolgend entfallen können.

### 5.6.3 Berücksichtigung von Verlagerungen

Im Betriebszustand „Bau und Erhaltung“ kann es aufgrund der durchgeführten Bau-, Reparatur- oder Erhaltungsmaßnahmen zu Störungen des Verkehrsablaufs kommen, die einen negativen Einfluss auf die Attraktivität bzw. den Widerstand und damit die q-v-Beziehung der jeweiligen Strecke haben kann. In Folge dessen können Verkehrsteilnehmer von der mit der Anlage ausgestatteten Strecke zu alternativen Strecken hin verlagert werden. Diese Verlagerungen gehen häufig mit zusätzlichen Fahrzeiten einher. Insgesamt beschränken sich die negativen Effekte der Verlagerung nicht nur auf Reisezeiten, sondern können alle Nutzenindikatoren betreffen.

Aufgrund dieser möglichen negativen Nutzenbeiträge im Betriebszustand „Bau und Erhaltung“ wurde untersucht,

- a) ob Störungen des Verkehrsablaufs auftreten,
- b) von welcher Dauer diese Störungen sind und
- c) -ob sie daher bei der Nutzenermittlung berücksichtigt werden müssen.

Die Ergebnisse der Befragung zeigten, dass wenn Störungen des Verkehrsablaufs auftreten, diese nur von geringem Umfang und von kurzer Dauer sind. Damit werden die negativen Nutzenbeiträge, die in Folge von Bau-, Reparatur- oder Erhaltungsmaßnahmen auftreten können, von vernachlässigbarem Umfang sein und werden bei der weiteren Verfahrensentwicklung und der darauf aufbauenden Nutzenermittlung nicht berücksichtigt.

Der Betriebszustand „Bau und Erhaltung“ unterscheidet sich somit nicht vom Betriebszustand „Außer Betrieb“. Die Entwicklung eines Verfahrens zur Nutzenermittlung kann damit auch für diesen Betriebszustand entfallen.

## 5.7 Ableitung des Nutzens für die Lebensphase „Betrieb“

Die Lebensphase „Betrieb“ setzt sich – wie bereits im Kapitel 3.4.2 erläutert – aus allen drei Betriebszuständen zusammen. Da in den Betriebszuständen „Bau und Erhaltung“ sowie „Außer Betrieb“ keine Nutzen erzeugt werden, kann der Gesamtnutzen für die Lebensphase „Betrieb“ wie folgt bestimmt werden:

$$N_{\text{Betriebsphase},a} = \frac{n_{\text{Normalbetrieb}}}{n_{\text{Betriebsphase}}} \times N_{\text{Normalbetrieb},a}$$

mit

$N_{\text{Betriebsphase},a}$  - jährlicher Nutzen der Lebensphase „Betrieb“

$N_{\text{Normalbetrieb},a}$  - jährlicher Nutzen des Betriebszustands „Normalbetrieb“

$n_{\text{Normalbetrieb}}$  - durchschnittliche Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“

$n_{\text{Betriebsphase}}$  - durchschnittliche Dauer der Lebensphase „Betrieb“

### 5.8 Ableitung des Nutzens für die Lebensphasen „Bau“ und „Rückbau“

Die Lebensphasen „Bau“ und „Rückbau“ setzen sich – wie bereits im Kapitel 3.4.2 erläutert – aus den Betriebszuständen „Außer Betrieb“ und „Bau und Erhaltung“ zusammen. Da während keiner der beiden Betriebszustände zu berücksichtigende (negative) Nutzen erzeugt werden, entfällt eine weitere Berechnung.

### 5.9 Ableitung des Gesamtnutzens über alle Lebensphasen

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass ausschließlich in der Lebensphase „Betrieb“ Nutzen in berücksichtigenswertem Umfang entstehen. Diese Nutzen ergeben sich aus dem Betriebszustand „Normalbetrieb“ innerhalb dieser Lebensphase.

Der Gesamtnutzen einer VBA über alle Lebensphasen kann damit wie folgt bestimmt werden:

$$N_{\text{Lebensdauer},a} = \frac{n_{\text{Normalbetrieb}}}{n_{\text{Lebensdauer}}} \times N_{\text{Normalbetrieb},a}$$

mit

$N_{\text{Lebensdauer},a}$  lebensphasenübergreifender jährlicher Gesamtnutzen

$N_{\text{Normalbetrieb},a}$  jährlicher Nutzen des Betriebszustands „Normalbetrieb“ der Lebensphase „Betrieb“

$n_{\text{Normalbetrieb}}$  durchschnittliche Dauer des Betriebszustands „Normalbetrieb“ in der Lebensphase „Betrieb“

$n_{\text{Lebensdauer}}$  durchschnittliche Lebensdauer der Anlage

## 6 Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung

### 6.1 Ergebnisse zur Lebensdauer

#### 6.1.1 Ergebnisse der Erhebung

Aus der Befragung konnten die durchschnittlichen Dauern der einzelnen Lebensphasen der VBA ermittelt werden. In Bild 43 bis Bild 46 sind die Dauern der Lebensphasen grafisch dargestellt.

Die mittlere Dauer des Lebenszyklus' von NBA n beträgt 16,5 Jahre, wovon durchschnittlich 13,3 Jahre auf die Betriebsphase entfallen. Dieser Wert für die Betriebsdauer ergibt sich aus der Tatsache, dass die Mehrzahl der betrachteten NBA n bereits erneuert wurde und eine Erneuerung den Beginn eines neuen Lebenszyklus' darstellt.

Dies ergibt die Untersuchung. Da es sich bei dem Ersatz der WWW durch dWiSta-Tafeln auch um

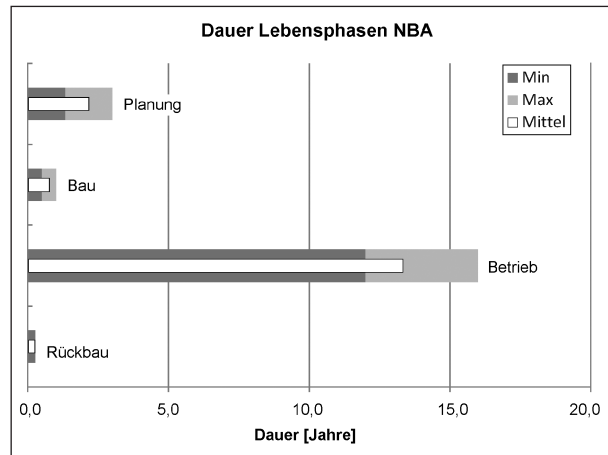


Bild 43: Dauer der Lebensphasen bei NBA n

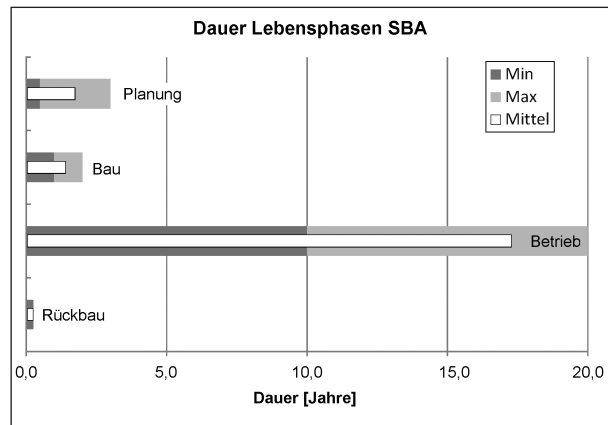


Bild 44: Dauer der Lebensphasen bei SBA n

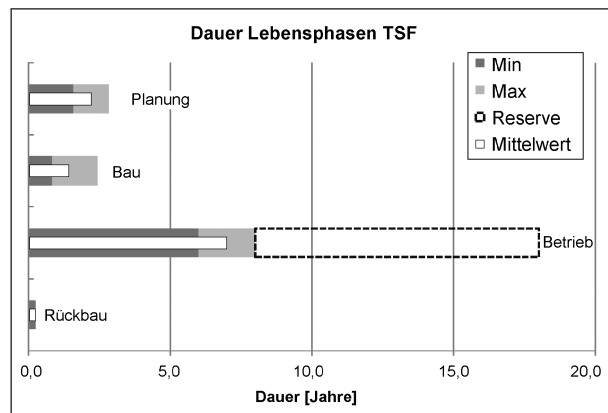


Bild 45: Dauer der Lebensphasen bei TSFn

eine strategische Erneuerung handelte, die gleichzeitig mit einer technischen Innovation Hand-in-Hand ging, kann dies in Zukunft auch anders verlaufen. Prinzipiell sind auch bei NBAn Laufdauern von 18 Jahren denkbar.

Bei SBAn beträgt die mittlere Dauer des Lebenszyklus' 20,6 Jahre. Die Betriebsphase dauert im Mittel davon 17,3 Jahre. Bei den SBAn ist diese Betriebsdauer bereits als Grenzwert anzusehen. Die Mehrzahl der Anlagen (5 von 7 betrachteten) wurden bereits erneuert oder befinden sich derzeit in der Erneuerung.

Keine der TFSn hat bisher ihren Lebenszyklus abgeschlossen. Obwohl es sich bei TSFn um Übergangslösungen handelt, die nur zur Überbrückung eines Leistungsfähigkeitsengpasses eingesetzt werden bis entsprechende Mittel zum Ausbau der Straße zur Verfügung stehen, könnten die untersuchten Anlagen noch auf unabsehbare Zeit in Betrieb bleiben. Die Betriebsphase umfasst im Mittel bisher 7,0 Jahre; sie ist noch nicht ausgeschöpft. Theoretisch kann davon ausgegangen werden, dass der Lebenszyklus von TSFn dem von SBAn entsprechen könnte.

Bei ZFRn beträgt die mittlere Dauer des Lebenszyklus' der untersuchten Anlagen 13,4 Jahre. Die Betriebsphase dauert im Mittel davon 11,5 Jahre.

Der recht niedrige Wert für die Betriebsdauer liegt darin begründet, dass diese Anlagen i. d. R. noch nicht länger in Betrieb sind. Eine der Anlagen ist bereits 15 Jahre in Betrieb, von den beiden anderen Anlagen wurde eine bereits abgebaut und die andere wird in absehbarer Zeit abgebaut, weil sie nicht mehr benötigt werden.

Die Betriebsdauer ist jedoch nach 11,5 Jahren noch nicht ausgeschöpft. Es kann davon ausgegangen

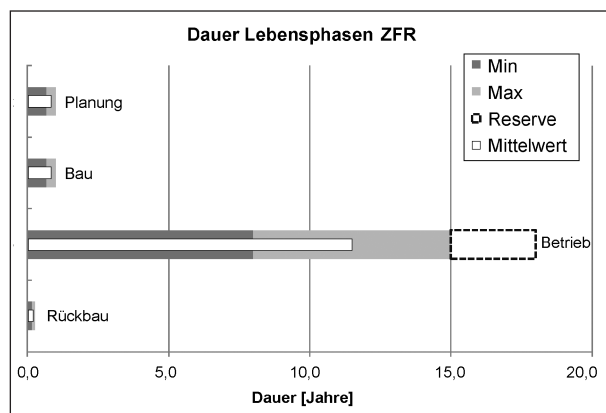


Bild 46: Dauer der Lebensphasen bei ZFRn

werden, dass der Lebenszyklus von ZFRn dem von SBAn entsprechen könnte.

In allen Abbildungen ist deutlich zu erkennen, dass die Betriebsphase bei allen Anlagentypen den größten Zeitraum einnimmt. Die Planungs-, Bau- und Rückbauphasen sind vergleichsweise kurz (26 + 9 + 2 = 37 Monate für NBAn bzw. 21 + 17 + 3 = 41 Monate bei SBAn, also in etwa 20 % der Betriebsdauer, bzw. 18 % des gesamten Lebenszyklus').

### 6.1.2 Lebensdauer einzelner Komponenten

Eine weitere Größe, die im Rahmen der Befragung erhoben wurde, ist die Lebensdauer einzelner Komponenten. Es wurde speziell nach der mittleren Lebensdauer von

- Verkehrszeichenbrücken (VZB),
- Wechselverkehrszeichen (WVZ),
- Verkehrsdatenerfassungseinrichtungen (VDE) und
- von Umfelddatenerfassungseinrichtungen (UDE).

gefragt (siehe Fragebogen in Anlage 1). In der Fragebogenaktion wurde bei den VDE leider nicht in Induktionsschleifenerfassung und Überkopfsensorik unterschieden.

Die Ergebnisse variieren stark (siehe Tabelle 9). Insbesondere bei den Verkehrszeichenbrücken wurden Lebensdauern zwischen 10 und 40 Jahren angegeben, obwohl keine der untersuchten Anlagen seit 40 Jahren in Betrieb ist. Hier wurde anscheinend von Verkehrszeichenbrücken, die für andere Zwecke aufgestellt sind, auf die Verkehrszeichenbrücken von VBA geschlossen. Das Ergebnis erscheint aber durchaus plausibel.

Bei Wechselverkehrszeichen ergaben sich aus der Befragung als Mittelwert der Lebensdauer ca. 14 Jahre. Bei den hier abgefragten, bereits den größten Teil des Lebenszyklus' überdauernden Anlagen

	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert	Anzahl	Standardabweichung	Varianz
VZB	10	40	20	11	10	91
WVZ	9	20	14	14	4	12
VDE	5	20	9	14	5	30
UDE	5	20	11	11	5	24

Tab. 9: Mittlere Lebensdauer von VBA-Komponenten

handelt es sich hauptsächlich um lichtfasertechnisch wirksame WVZ und Wechselwegweiser in Prismentechnik.

In zusätzlichen Expertengesprächen wurde hinsichtlich der Lebensdauer der unterschiedlichen Techniken von Wechselverkehrszeichen folgende weiteren Erfahrungen festgehalten:

- An den Prismenzeichen/-wegweisern sind vor allem die mechanischen Teile problematisch (Steuerketten, Motoren). Die Funktion der Prismen wird durch die Salzeinwirkung langfristig gestört. Dies führt zu einem schleichenden Versagen, jedoch gegenläufig zur Gebrauchshäufigkeit. Die Lebensdauer der Prismenzeichen/-wegweiser beträgt im Mittel ca. 10 Jahre.
- Typisch für die dWiSta-Tafeln ist das Feuchtigkeitsproblem im WVZ. Durch entstehendes Schwitzwasser infolge von Temperaturunterschieden (Erreichen der Taupunkttemperatur) oder durch Eindringen von Wasser korrodiert das LED-Board. Bald danach erfolgt in der Regel ein spontanes Versagen der LED. Die Lebensdauer der dWiSta-Tafeln beträgt im Mittel ca. 10 Jahre.
- Typische Probleme bei den lichtfasertechnischen Zeichen sind steigende Übergangswiderstände der Fassungen zur Lampe durch Korrosion. Bei alten Anlagen tritt vielfach Helligkeitsverlust durch die Verschmutzung der Komponenten auf. Trotz regelmäßigem Lampenwechsel führen diese Probleme zu schleichendem Versagen nach im Mittel ca. 10 bis 15 Jahren.
- Für LED-Zeichen gilt Ähnliches wie für die dWiSta-Tafeln. Spontanes Ausfallen der LED-Ketten und Kurzschlüsse infolge von Korrosion sowie das Erreichen der Taupunkttemperatur führen zu spontanem LED-Ausfall. Die andauernde UV-Bestrahlung der Zeichengehäuse führt auf Dauer zum Verblassen der Farben und zum Zersetzen der Dichtungen, wodurch Feuchtigkeit eindringt und die Lebensdauer der LED-Zeichen auf ca. 10 bis 15 Jahre beschränkt wird.

Der Mittelwert der Lebensdauer von Verkehrsdaten- und von Umfelddaten-Erfassungseinrichtungen liegt etwa bei 10 Jahren.

In den Expertengesprächen wurde hinsichtlich der Lebensdauer der Verkehrsdaten- und von Umfelddatenerfassungseinrichtungen folgende weiteren Erfahrungen festgehalten:

- Die Lebensdauer von Induktionsschleifen ist stark abhängig vom Fahrbahnzustand, vom Schwerverkehrsanteil und von der Gradienten. Bei Asphaltdeckschichten können durchaus 15 Jahre erreicht werden, sofern vorher keine Baustelle im Bereich der Schleife eingerichtet wird. Bei extremer Spurrinnenbildung der Fahrbahn kann ein frühzeitiges Ende durch Abriss des Schleifendrahts, bei Betonplatten durch Abscheren des Schleifendrahts, wenn er über die Betonplatte hinausgeht, eintreten. In der Regel ist das Versagen schleichend, als Lebenszeit muss im Mittel von 5 bis 10 Jahren ausgegangen werden. In Einzelfällen sind schon 20 Jahre vorgekommen.
- Bei VDE-Überkopfsensoren liegt die Lebensdauer mit 5 Jahren im Mittel deutlich niedriger. Bei diesen Komponenten tritt schleichendes Versagen auf, die Messwerte verschlechtern sich deutlich mit zunehmendem Lebensalter.
- Bei den Umfelddaten-Erfassungseinrichtungen sind die Bodensonden am anfälligsten. Die Lebensdauer für die Fahrbahnsensoren beträgt in der Regel 8 Jahre, in Abhängigkeit des Herstellers kann die Lebensdauer auch länger sein. Dies zeigt sich auch in dem in Tabelle 9 ausgewiesenen Mittelwert.

Im Ergebnis muss für die verschiedenen Komponenten der VBA von unterschiedlichen Lebensdauern ausgegangen werden.

In Bild 47 sind die Ergebnisse der Fragebogenerhebung und der Einzelgespräche mit den Experten von den Straßenbauverwaltungen der Länder

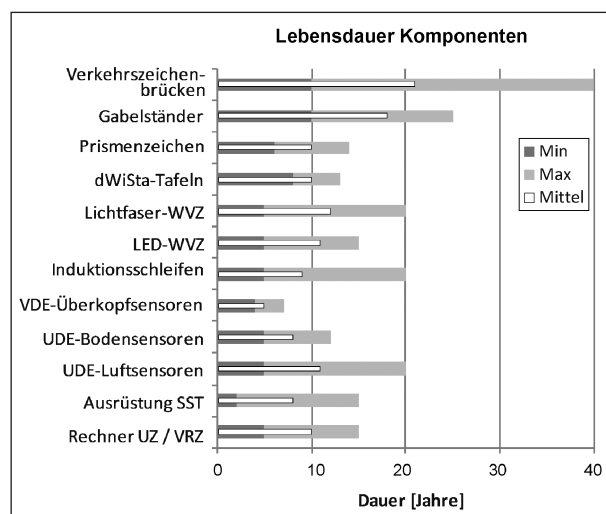


Bild 47: Lebensdauer der Komponenten

dargestellt. Zusätzlich sind eigene Erfahrungen in diversen Projekten eingeflossen.

Die Anzahl der Stichproben variiert sehr stark. Bei den Verkehrszeichenbrücken, den lichtfasertechnischen WVZ, den Induktionsschleifen und den UDE-Luft- und Bodensensoren liegen die Ergebnisse der Befragung zugrunde. Diese Ergebnisse sind mit der Stichprobenstärke aus Tabelle 9 eingeflossen. Bei den anderen Komponenten, deren Lebensdauer nicht über den Fragebogen abgefragt wurde, liegt die Stichprobenstärke eher zwischen zwei und fünf.

Die großen Spannen bei den Angaben sind auf die unterschiedlichen Erfahrungen der Betreiber bzw. des Forschungsnehmers aus verschiedenen Projekten geschuldet. Warum eine Komponente in der einen Situation früher, in einer anderen Situation eher später ausfällt bzw. nicht mehr ihre Funktion erfüllt, kann unterschiedlichste Gründe haben:

- Es kann an der unterschiedlichen Güte des Materials liegen.
- Bei WVZ kann sich die Bauform eines Zeichens verschiedener Hersteller unterscheiden; dies kann dazu führen, dass das eine Zeichen eher korrodiert als ein anderes.
- Es werden unterschiedliche elektrische Bauteile verbaut.
- Die Wärmeentwicklung in einem Gerät kann unterschiedlich sein; daraus ergeben sich unterschiedliche Bedingungen für die Korrosion.
- Einzelne Zeichen können an extrem sonnenexponierten Standorten aufgehängt sein; dadurch werden die Dichtungen früher undicht.
- Es können unterschiedliche Beanspruchungen der Komponenten durch den Verkehr auftreten (z. B. Induktionsschleifen oder UDE-Bodensensoren).

Mit einer langen Lebensdauer fallen die VZB auf. Hier werden – sogar aus mehreren Quellen – Lebensdauern von 40 Jahren genannt. Dies gilt aber nur, wenn die VZB regelmäßig alle 2 Jahre nach DIN 1076 geprüft und entsprechen instandgehalten wird.

Eine Wiederverwendung der VZB wurde nicht empfohlen. Dies hat mehrere Gründe:

- Die Anforderungen der ZTV-Ing und der ZTV-Korr wandeln sich so häufig und in so starkem

Maße, dass die gebrauchten VZB i. d. R. diesen Anforderungen nicht mehr genügen. Außerdem haben die alten VZB meist auch noch keine biegesteifen Eckverbindungen.

- Zudem lehnt der Ersteller einer neuen Anlage oftmals die Verwendung von gebrauchtem VZB ab; zumindest lehnt er i. d. R. jegliche Verantwortung für die alten VZBn ab.

Die Abbau- und Entsorgungskosten für die VZB heben sich mit dem Materialpreis (Restwert) auf. Abbaukosten betragen ca. 10.000 € (für 2-streifige Querschnitte) und 15.000 € (für 3-streifige Querschnitte). Eine neue VZB kostet ca. 40.000 € (für 3-streifige Querschnitte). Deshalb ist ein Umbau i. d. R. unrentabel. Trotzdem sind Beispiele bekannt, wo Betreiber bereits rückgebaute VZB in neuen Anlagen wiederverwendet haben. Dagegen ist die Wiederverwendung von WVZ und SST eher ein gängiges Vorgehen.

### 6.1.3 Betrachtungen zur Lebensdauer

Über die Erhebung mittels Fragebogen hinaus wurden Expertengespräche mit Betreibern und Herstellern geführt, um herauszufinden, welche Probleme die Lebensdauer einer VBA beeinträchtigen.

Bei den Befragungen der Betreiber hinsichtlich der Lebensdauer von einzelnen VBA-Komponenten wurde immer wieder auf die Komplexität des Systems und die daraus entstehenden Abhängigkeiten – auch auf die Lebensdauer – hingewiesen. Als VBA-Komponenten, die als erstes ausfallen, sind zu nennen: Netzteile, Akkupufferung, LED-Boards wegen Feuchtigkeit, Elektronikbauteile (oft durch äußere Einflüsse wie Gewitter, die FG1 und die FG3).

Die Bestimmung der Lebensdauer einer VBA ist von den Lebensdauern der einzelnen Komponenten abhängig. Viele dieser Komponenten sind i. d. R. austauschbar und beeinträchtigen die Lebensdauer der Gesamtanlage durch ihren Ausfall nicht, sondern werden gegen gleichwertige Bauteile getauscht. Unter ungünstigen Umständen kann aber ein defektes Bauteil dazu führen, dass erhebliche Teile der Anlage ausgetauscht werden müssen.

Der Lebenszyklus einer Anlage kann auch dadurch beeinträchtigt werden, wenn bei der mit der Wartung betrauten Firma Personal in Ruhestand geht, das die eingesetzten Geräte mit entwickelt hat und

somit Know-how über die Funktionsweise mancher Baugruppen verloren geht, die für den weiteren Betrieb der Anlage dringend notwendig ist.

Üblicherweise wird im Zuge der Ausschreibung einer VBA ein 6- oder 10-jähriger Wartungsvertrag mit ausgeschrieben, der nach Inbetriebnahme der Anlage beauftragt wird. Der Vertrag verlängert sich nach Ablauf i. d. R. automatisch um ein Jahr. Preis und Lohnleitung sind in der Regel bereits zu Beginn vereinbart. Der Bund stellt dem Betreiber der Anlage jährlich Mittel zur Verfügung, mit dessen Hilfe die Instandhaltungskosten gedeckt werden sollen.

Nach Ablauf der Vertragsdauer besteht von beiden Seiten die Möglichkeit, den Wartungsvertrag zu kündigen. Dies wird immer öfter seitens der Hersteller wahrgenommen. Der Hersteller hat dadurch die Möglichkeit der Nachverhandlung, wodurch teilweise deutliche Steigerungen bei den Wartungskosten zustande kommen können. Außerdem kann die Herstellerfirma darauf bestehen, dass bei Wartungsvertragsverlängerungen die Kosten für die Ersatzteile nicht mehr enthalten sind.

Ebenso sind neue Preisverhandlungen über Nachträge erforderlich, wenn der AN nach Ablauf der Vertragsdauer die Ersatzteilgarantie aufkündigt oder erklärt, dass einzelne Komponenten nicht mehr lieferbar sind.

Es besteht jedoch kein Wettbewerb, da als Wartungsfirma nur die Herstellerfirma in Frage kommt. Dies führt i. d. R. zu höheren Wartungskosten, da die Straßenbauverwaltungen keine Handhabe haben, den geforderten höheren Preis zu drücken. Längere Wartungsverträge wären wünschenswert, sind aber aus vertraglicher Sicht bedenklich. Der veränderte, höhere Preis für die jährlichen Wartungskosten ist aber oft nicht mehr durch die jährlichen Zuwendungen des Bundes gedeckt.

Wenn keine Einigung erzielt werden kann, erfolgt keine Verlängerung des Wartungsvertrages. Dann wird die Wartung ggf. als Regieleistung beauftragt.

Bei einzelnen Verträgen mit Laufzeiten größer 12 Jahren gab es in der Vergangenheit auch Schwierigkeiten bei der Ersatzteilbeschaffung. Am ehesten sind Lieferschwierigkeiten bei Hardwarekomponenten und/oder EAK-Steuermodule über 12 Jahre (bezogen auf die Inbetriebnahme) zu erwarten.

Insgesamt ergab sich, dass die Wartungsverträge durch stillschweigende Verlängerungen im Mittel etwa 17 Jahre laufen, bevor sie von einer Seite gekündigt wurden. Es kommen sogar Spitzenwerte von bis zu 24 Jahren Laufzeit vor.

Kommt es zu keiner Verlängerung des Wartungsvertrages, hat der Betreiber die Wahl zwischen den beiden folgenden (Extrem-)Szenarien:

1. -Der „vorsichtige“ Betreiber rechnet damit, dass die Wartung der Anlage nach dem 10. Betriebsjahr gekündigt wird und dann über kurz oder lang die ersten Komponenten ausfallen. D. h. er wird bereits im 8. Betriebsjahr der VBA mit den Vorbereitungen eines RE-Entwurfs für eine Ersatzanlage beginnen, da er rechtzeitig für einen Ersatz der Anlage sorgen muss und aus Erfahrung weiß, dass die Genehmigung der Gelder entsprechend Zeit dauert.
2. -Der „zurückhaltende“ Betreiber versucht, die Anlage solange wie möglich in Betrieb zu halten und sie erst zu ersetzen, wenn sie grundlegend saniert werden muss. Hierfür wird empfohlen, linienhafte Komponentensanierungen durchzuführen, bevor eine völlige Sanierung einer Anlage geplant wird. Wenn z. B. innerhalb eines Inselbusses ein Steuermodul ausfällt und kein identisches Gerät mehr zur Verfügung steht, werden alle Steuermodule des Inselbusses gegen neue getauscht; die übrigen, noch funktionierenden Geräte kommen in die Reserve. Auf diese Weise können Geräte bevorratet werden und stehen als Ersatz für spätere Ausfälle zur Verfügung.

Letztendlich wird der Betreiber eine Lösung zwischen den beiden hier vorgestellten Szenarien anstreben.

#### 6.1.4 Restwertbetrachtung

Wird eine VBA rückgebaut, ist zu ermitteln, welchen Restwert die Anlage noch besitzt. Bei der Ermittlung des Restwertes muss berücksichtigt werden, dass unmittelbar mit Inbetriebnahme der Anlage ein Teil der Investitionskosten bereits verwirkt ist. Dies gilt für

- die Tiefbaukosten: alles was an Tiefbau erbracht wird, kann nicht mehr wiederverwendet werden und hat somit keinen Restwert,
- die Montagekosten: für alle Bauteile, die wieder abgebaut und weiterverwendet werden können,

müssen die Montagekosten von den Investitionskosten abgezogen werden.

Es wird von einer degressiven Abschreibungsfunktion ausgegangen. Bei der geometrisch degressiven Abschreibung werden die Anschaffungs- oder Wiederbeschaffungskosten eines Anlagegutes mittels jährlicher Abschreibungsquote auf die Nutzungsdauer des Gutes verteilt. Im Gegensatz zu der linearen Abschreibung ist die Abschreibungsquote bei der degressiven Abschreibung mit jedem bereits vergangenen Jahr der wirtschaftlichen Nutzungsdauer kleiner. Damit werden die aus den wirtschaftlichen oder technischen Entwicklungen resultierenden außergewöhnlichen Wertminderungen stärker berücksichtigt. Geometrisch degressive Abschreibung entspricht oftmals dem tatsächlichen Wertverzehr des Wirtschaftsgutes besser als die lineare Abschreibung (Handbuch Rechnungswesen).

Bei der degressiven Abschreibung werden die Abschreibungsbeträge vom Restbuchwert des jeweiligen Jahres berechnet. Die Abschreibungsbeträge ergeben sich durch Multiplikation des Restbuchwertes mit einer konstanten Abschreibungsquote:

$$a_t = R_{t-1} \cdot p$$

mit

$a_t$  Abschreibungsbetrag der Periode  $t$

$R_{t-1}$  Restbuchwert der Vorperiode

$p$  Abschreibungsquote.

Die Abschreibungsquote  $p$  ist mit Hilfe der folgenden Formel zu berechnen:

$$p = \left( 1 - \sqrt[n]{\frac{K_t}{K_0}} \right) \cdot 100 \%$$

mit

$K_0$  Neuwert

$K_t$  Restwert am Ende der Nutzungsdauer

$n$  Nutzungsdauer

Der aktuelle Restwert im Jahr  $n$  ergibt sich somit aus:

$$R_n = K_0 \times (1 - p)^n$$

mit

$R_n$  Restwert im Betriebsjahr  $n$

$K_0$  Neuwert

$p$  Abschreibungsquote

$n$  Nutzungsdauer

Die Abschreibungsdauer ist die maximale Lebensdauer der Anlage. Der Restwert wird mit 2 % des Lieferwerts angesetzt (aus rechnerischen Gründen kann nicht mit dem Restwert null gerechnet werden).

Als Abschreibungsdauer werden die in Kapitel 6.1.5 vorgeschlagenen maximalen Betriebszeiten angesetzt.

### 6.1.5 Fazit

Insgesamt ist bei der Betrachtung des Lebenszyklus' einer VBA zu konstatieren, dass sich die Lebensdauern der Einzelteile sehr unterschiedlich und abweichend von dem Lebenszyklus der Gesamt-VBA verhalten.

Es kristallisierte sich heraus, dass von einer Betriebsdauer des Gesamtsystems von ca. 15 bis 20 Jahren ausgegangen werden kann. Dagegen gibt es eine Vielzahl von Einzelkomponenten, deren Lebensdauer wesentlich kürzer ist. Angefangen von Bauteilen in Rechnern, die teilweise Lebenszyklen von 3 bis 5 Jahren ausweisen, bis hin zu den Wechselverkehrszeichen, die je nach Technologie unter optimalen Bedingungen bis zu 20 Jahre im Einsatz bleiben können und somit auch – in Einzelfällen – die Lebensdauer der Gesamt-VBA erreichen können.

Die Verkehrszeichenbrücken sind die einzige VBA-Komponente (außer dem Tiefbau und der Verkabelung), die in den meisten Fällen die Lebenszeit einer VBA überdauern.

Unter diesen Umständen könnte man schließen, dass die Lebensdauer der VBA vor allem an der Lebensdauer der Aufstellvorrichtungen hängt. Alle anderen Teile können bei Bedarf ausgetauscht werden.

Ein wirtschaftliches Aus für eine Anlage hängt allerdings oft auch von Zufallsereignissen ab wie Ausfall von Teilen, die nicht mehr ersetzt werden können, weil technisches Know-how über das Funktionieren dieses Teils beim Hersteller oder beim Betreiber nicht mehr vorhanden sind, oder spezielle Bauteile nicht mehr zur Verfügung stehen, weil zwischen zeitlich die Fertigung eingestellt wurde oder der Hersteller Konkurs gegangen ist.



Unter Bezugnahme auf die Ergebnisse der Befragung der Straßenbauverwaltungen der Länder hinsichtlich der bestehenden Anlagen und der Ergebnisse der Expertengespräche wird vorgeschlagen, von folgenden Erwartungsdauern für die Betriebsphase auszugehen:

- von 10 Jahren für TSFn,
- von 12 Jahren bei NBAn und
- von 18 Jahren bei SBAn und ZFRn.

Diese gewählten Betriebsdauern begründen sich wie folgt:

- Beim Einsatz einer TSF handelt es sich um eine Übergangslösung, um einen Leistungsfähigkeitsengpass für die Zeitdauer zu überbrücken, bis entsprechende Mittel zu dem Ausbau der Straße zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund besteht der Anspruch, dass eine TSF sich bereits innerhalb von 10 Jahren amortisieren sollte.
- Bei NBAn steht die Lebensdauer der Wechselwegweiser bzw. dWiSta-Tafeln im Vordergrund; die Verkehrsdatenerhebung (bisher meistens Induktionsschleifen) muss in Zuge des Lebenszyklus' der Gesamtanlage i. d. R. mehrfach erneuert werden. Hier erscheint die obere Grenze der Lebensdauer der dWiSta-Tafeln (die heute in NBAn am häufigsten eingesetzt werden) als ausschlaggebend für die Betriebsdauer der Gesamtanlage. Bei zwei der drei untersuchten Anlagen war der Grund für den Austausch der WWW durch dWiSta-Tafeln eine strategische Erneuerung – die Umrüstung der NBAn für die WM 2005 mit dWiSta-Tafeln. Bei der dritten Anlage soll in

Kürze umgerüstet werden; auch hier beträgt die Betriebsdauer etwa 12 Jahre. Prinzipiell sind jedoch auch für NBAn längere Betriebszeiten denkbar.

- Bei SBAn stellt jede einzelne Komponente – gleich, ob es sich um ein WVZ, eine SSt oder eine VDE oder UDE handelt – eher einen kleinen Baustein zu der Gesamtanlage dar; sofern dieser ausfällt, wird er ersetzt, solange dies aus Gründen der Ersatzteilbevorratung möglich ist. Hier erscheinen Betriebsdauern von 18 Jahren durchaus realistisch, insbesondere wenn man die Betriebsdauern der ausgewerteten Anlagen betrachtet.
- Für ZFRn gilt das Gleiche wie für die SBAn.

## 6.2 Kosten der verschiedenen Lebensphasen

Ein Ergebnis der Erhebung waren die Kosten für die verschiedenen Anlagentypen im Zuge des Lebenszyklus. Diese Kosten wurden normiert und sind in Tabelle 10 zusammengetragen.

Da die Kosten der Betriebsphase einer Anlage nicht unerheblich sind und von der Dauer der Betriebsphase abhängen, werden an dieser Stelle die in Kapitel 6.1.4 festgelegten Erwartungsdauern der Betriebsphase angesetzt.

Sie basieren auf den Erhebungsdaten und wurden wie folgt gerundet:

- 2-stellig: auf 10er,
- 3-stellig: auf 10er,

Dauer Betrieb		12 Jahre			18 Jahre			10 Jahre			18 Jahre		
		NBA			SBA			TSF			ZFR		
		€/NBA-Kennwert pro Jahr	normiert	% relativ	€/km pro Jahr	normiert	% relativ	€/km pro Jahr	normiert	% relativ	€/Stk pro Jahr	normiert	% relativ
Planung	Personalkosten Straßenverwaltung	30		0	1.400		0	1.400		1	3.000		2
	Personalkosten externe Planer	260		2	2.500		1	2.500		1	3.800		3
	<b>Summe Planung</b>	<b>290</b>		<b>2</b>	<b>3.900</b>		<b>1</b>	<b>3.900</b>		<b>2</b>	<b>6.800</b>		<b>5</b>
Bau	Personalkosten Straßenverwaltung	20		0	1.900		1	1.900		1	2.400		2
	Personalkosten externe Planer	220		2	4.400		1	4.400		2	800		1
	Investitionskosten	11.000		80	160.000		53	140.000		57	100.000		67
	<b>Summe Bau</b>	<b>11.240</b>		<b>82</b>	<b>166.300</b>		<b>55</b>	<b>146.300</b>		<b>59</b>	<b>103.200</b>		<b>69</b>
Betrieb	Energiekosten	30		3	1.200		7	800		3	400		5
	Instandhaltungskosten	100		9	4.800		29	2.200		9	500		6
	Personalkosten Straßenverwaltung	25		2	450		3	5.800		23	700		8
	Personalkosten externe Planer	0		0	30		0	0		0	180		2
	<b>Summe Betrieb</b>	<b>155</b>		<b>14</b>	<b>6.480</b>		<b>39</b>	<b>8.800</b>		<b>36</b>	<b>1.780</b>		<b>21</b>
Rückbau	Personalkosten Straßenverwaltung	10		0	900		0	1.000		0	700		0
	Kosten für Abbau und Entsorgung	300		2	14.000		5	8.000		3	6.600		4
	<b>Summe Rückbau</b>	<b>310</b>		<b>2</b>	<b>14.900</b>		<b>5</b>	<b>9.000</b>		<b>4</b>	<b>7.300</b>		<b>5</b>
<b>Summe Kosten</b>		<b>13.700</b>		<b>100</b>	<b>301.740</b>		<b>100</b>	<b>247.200</b>		<b>100</b>	<b>149.340</b>		<b>100</b>

Tab. 10: Ergebnisse der Kosten (normiert und gerundet) für die verschiedenen Anlagentypen im Zuge des Lebenszyklus'

- 4-stellig: auf 100er,
- 5-Stellig: auf 1.000er,
- 6-stellig: auf 10.000er.

Die in Tabelle 10 aufgeführten normierten Kostensätze werden für alle weiteren Betrachtungen und auch als Standardwerte im Bewertungstool verwendet.

In Bild 48 bis Bild 51 sind die prozentuale Verteilung der Kosten für die verschiedenen Anlagentypen dargestellt.

Die grünlichen Sektoren bilden die Planungsphase ab, die rötlichen die Bauphase. Zur Betriebsphase gehören die in blau gehaltenen Sektoren. Der graue gehaltene Sektor stellt den Rückbau dar.

Hier wird deutlich, dass die Kosten einer NBA im Wesentlichen durch die Investitionskosten in der Bauphase geprägt werden. Zweitgrößte Tranche sind die Instandhaltungskosten, die sich jedoch nur noch mit ca. 9 % der Gesamtkosten im Lebenszyklus der NBA niederschlagen.

Alle anderen Kostenpositionen sind diesen Positionen gegenüber marginal.

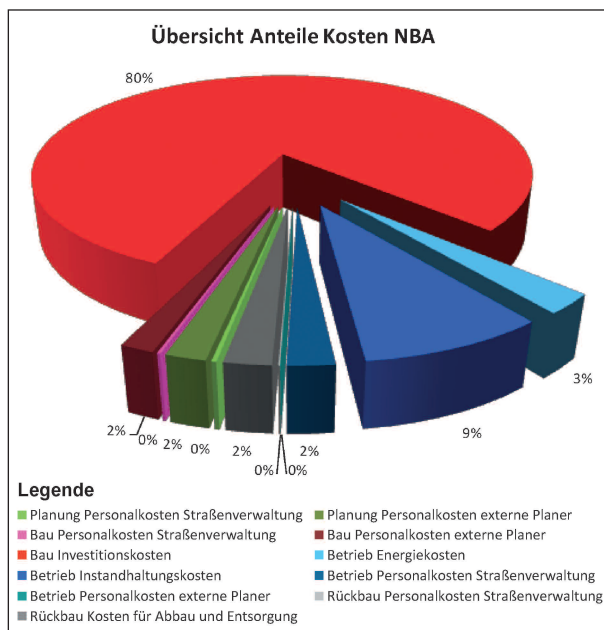


Bild 48: Verteilung der normierten Kosten von NBA

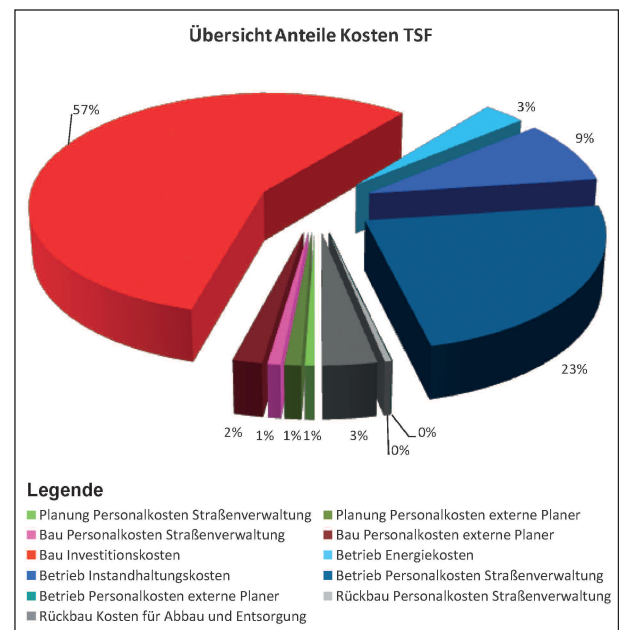


Bild 50: Verteilung der normierten Kosten von TSFn

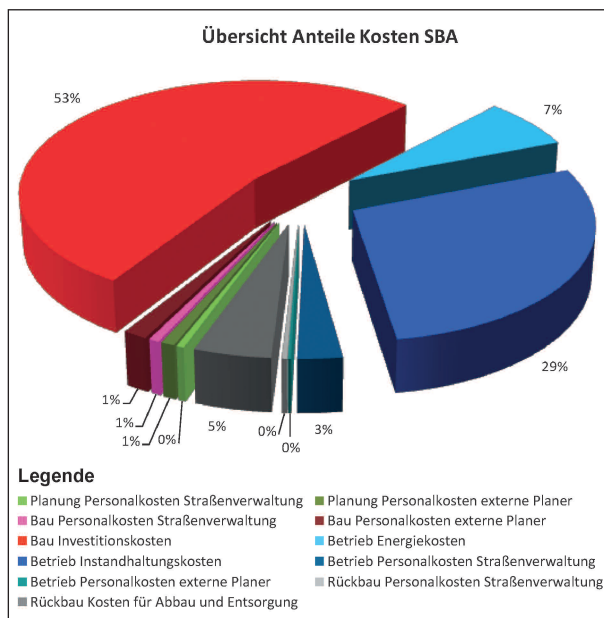


Bild 49: Verteilung der normierten Kosten von SBAn

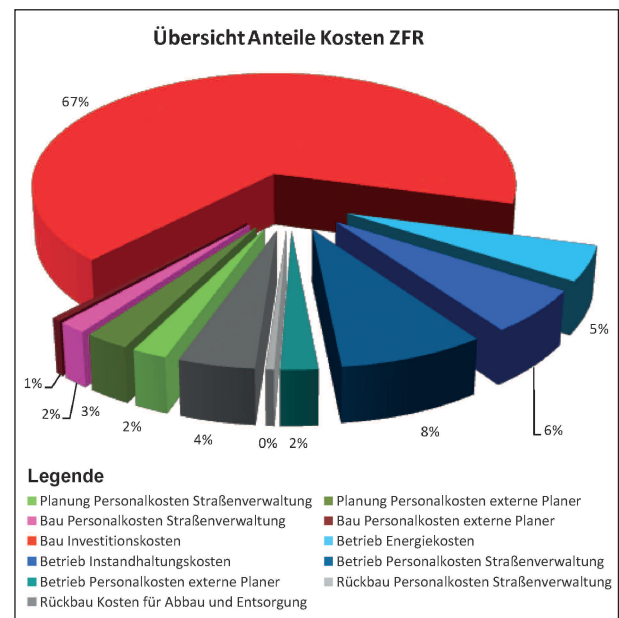


Bild 51: Verteilung der normierten Kosten von ZFRn

Bei SBAn betragen die Investitionskosten ca. 53 % der Gesamtkosten und stellen somit den größten Anteil an den Gesamtkosten dar. Auch hier sind die Instandhaltungskosten mit 29 % der zweitgrößte Anteil. Die Energie- und Rückbaukosten betragen 7 % bzw. 5 % der Gesamtkosten.

Auch bei TFSn stellen die Investitionskosten mit ca. 57 % den größten Anteil an den Gesamtkosten dar. Bei den Kosten für TSFn stellen jedoch die Personalkosten während der Betriebsphase einen größeren Kostenblock dar, als die Instandhaltungskosten. Der hohe Anteil an Personalkosten (ca. 23 %) ergibt sich durch die intensive Betreuung seitens der VRZ bei der Freigabe des Seitenstreifens (keine Automatisierung). Die Instandhaltung umfasst noch etwa 9 % der Gesamtkosten. Alle anderen Positionen fallen gegenüber diesen Positionen gering aus.

Wie bei allen anderen Anlagentypen zeigt sich, dass die Investitionskosten einer ZFR den größten Anteil (ca. 67 %) an den Gesamtkosten darstellen. Auch hier liegen die Personalkosten der Straßenbauverwaltung mit ca. 8 % auf dem zweiten Platz, gefolgt von den Instandhaltungskosten (6 %).

Auf der Basis der in der Befragung der Straßenbauverwaltungen der Länder ermittelten normierten Kostensätze und Dauern der Lebensphasen sowie den in Kapitel 6.1.4 festgelegten Erwartungsdauern wird die durchschnittliche Entwicklung der normierten Kosten für die einzelnen Anlagentypen in Bild 52 bis Bild 55 dargestellt.

Dabei werden die Kosten der jeweiligen Phasen in Abhängigkeit der Phasendauer dargestellt. Somit stellt die Fläche innerhalb der Linien die Kosten dar.

Auch in dieser Darstellung zeigt sich deutlich, dass bei den Kosten für NBAn die Investitionskosten die entscheidende Größe darstellen. Sie fallen in der relativ kurzen Bauphase (9 Monate) an. Die Kosten des laufenden Betriebes sind relativ gering. Nur beim Abbau fällt noch einmal innerhalb einer kurzen Zeit (3 Monaten) eine Kostenspitze auf.

Bei SBAn sieht es ähnlich aus. Nach einer Planungsphase von etwa 9 Monaten und einer ebenso langen Bauphase mit intensivem Investitionskostenanteil sind die Kosten des laufenden Betriebes relativ gering. Beim Abbau fällt noch einmal innerhalb einer kurzen Zeit (3 Monaten) eine Kostenspitze auf.

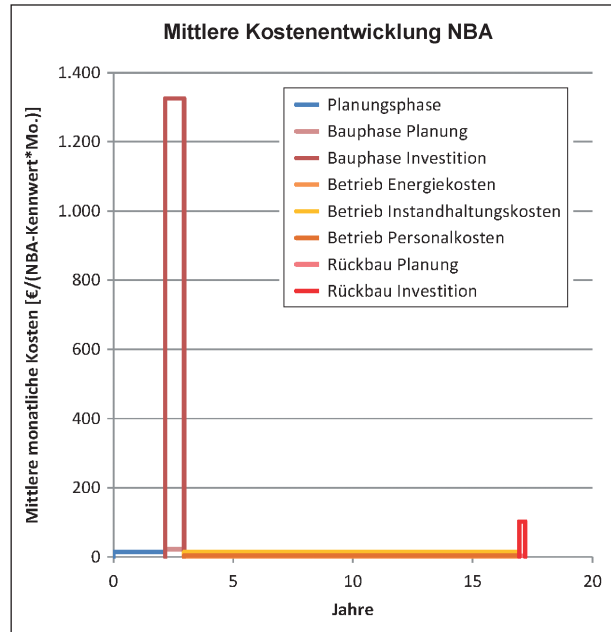


Bild 52: Entwicklung der normierten Kosten über den Lebenszyklus für NBAn

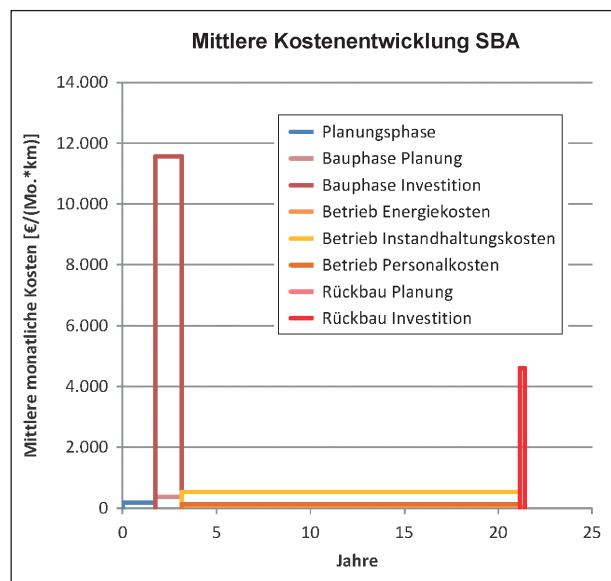


Bild 53: Entwicklung der normierten Kosten über den Lebenszyklus für SBAn

Bei der Kostenentwicklung der TSFn über den Lebenszyklus fällt vor allem auf, dass die laufenden Kosten des Betriebes deutlich höher sind als bei SBAn und somit im laufenden Betrieb fast noch einmal so viele Kosten anfallen, wie in der Bauphase.

Hier wird deutlich, dass die Planungs- und Bauphase für eine ZFR deutlich kürzer sind, als die von anderen Anlagentypen.

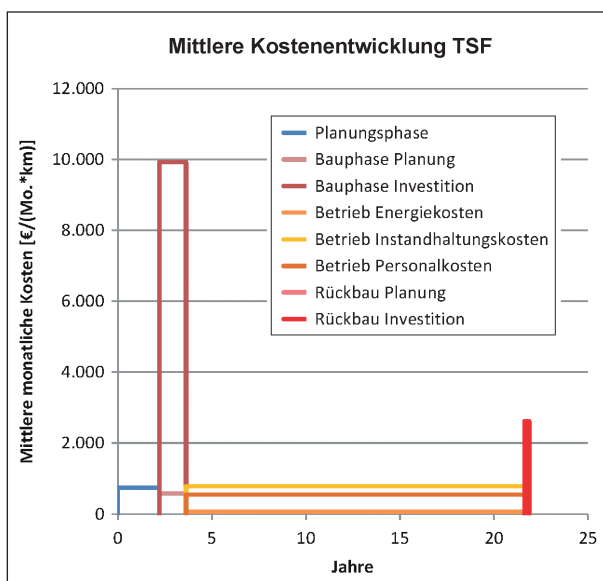


Bild 54: Entwicklung der normierten Kosten über den Lebenszyklus für TSFn

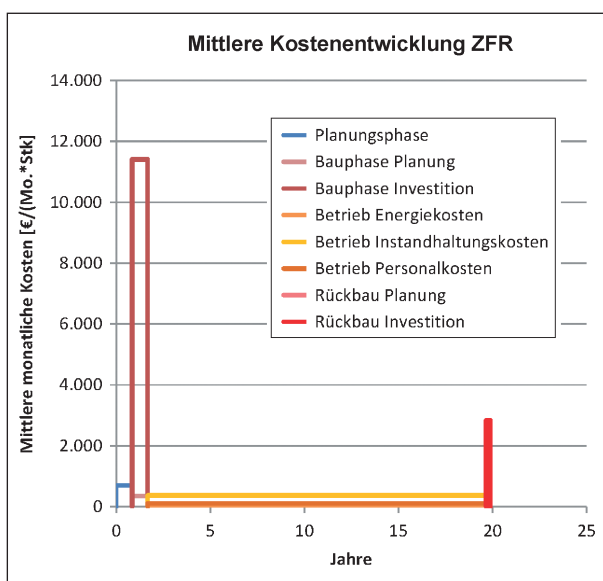


Bild 55: Entwicklung der normierten Kosten über den Lebenszyklus für ZFRn

### 6.3 Musteranlagen

Um die Auswirkungen der Lebenszyklusbetrachtung auf den Nutzen/Kosten-Faktor einer Anlage einzuschätzen, wird die Lebenszyklusbetrachtung an drei verschiedenen Anlagentypen exemplarisch durchgeführt. Es handelt sich dabei um die folgenden Anlagen:

- Netzbeeinflussungsanlage A3/A7/A70/A73 Nürnberg-Schweinfurt,
- Streckenbeeinflussungsanlage A5 Frankfurt- Gambacher Kreuz,

- Zuflußregelungsanlage A4 Bensberg-Moitzfeld.

Für diese Anlagen wurde die Nutzen/Kosten-Berechnung nach zwei Methoden vorgenommen:

- gemäß Muster-RE-Entwurf,
- gemäß der vorab beschriebenen Lebenszyklusbetrachtung.

Die Nutzen/Kosten-Berechnung wird als ex-ante-Untersuchung mit Hilfe des in Kapitel 7 beschriebenen Excel-Tools vorgenommen.

In der Regel werden für ex-ante-Untersuchungen von VBA Verkehrs-, Störungs- und Unfalldaten aus Zeitbereichen vor Einsatz der Anlage benötigt. Diese Daten stehen i. d. R. nicht länger als 5 Jahre zur Verfügung. Aus diesem Grund wurden Anlagen ausgewählt, die zwischen 3 und 5 Jahren in Betrieb sind. Bei NBA sind keine ex-ante-Daten erforderlich, deshalb konnte hier auch eine ältere Anlage untersucht werden.

Anhand der Ergebnisse dieses Vergleiches kann der Einfluss der angewendeten Methode auf den Nutzen/Kosten-Faktor einer Anlage beurteilt werden.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 bis Tabelle 13 dargestellt. Die Kosten der Planungsphase, die Personalkosten der Bauphase und die Kosten der Rückbauphase werden nur bei der Lebenszyklusbetrachtung berücksichtigt und werden in der entsprechenden Spalte unter jährliche Kosten und unter Gesamtkosten geführt.

Die Investitionskosten sind in beiden Fällen gleich und werden mit Hilfe der Annuitätenmethode auf jährliche Kosten umgerechnet Basis ist ein Zinssatz von 3 %/a).

Die Betriebskosten werden im Verfahren gemäß Muster-RE-Entwurf als 10 % der Investitionskosten ohne Tiefbau geschätzt, bzw. bei der Lebenszyklusbetrachtung gemäß den im ggst. Forschungsvorhaben ermittelten Kosten berechnet.

Die Nutzen werden als jährlicher Nutzen ermittelt. Anschließend erfolgt eine Hochrechnung auf die geplante Betriebsdauer. Es wird insbesondere in der Betrachtung der Nutzen durch Erhöhung der Verkehrssicherheit als fraglich angesehen, ob dies über einen so langen Zeitraum sinnvoll ist und inwiefern die allgemeine Unfallentwicklung zu wenig berücksichtigt wird.

Im Verfahren gemäß Muster-RE-Entwurf werden nur die Nutzen berücksichtigt, die im Muster-RE-Entwurf vorgesehen sind. Bei der Lebenszyklusbetrachtung kommen – je nach Anlagentyp – auch weitere Nutzenkomponenten sowie eventuelle Nutzenreduktionen in Betracht.

Anschließend wird das Nutzen/Kosten-Verhältnis als Quotient der jährlichen Nutzen und der jährlichen Kosten gebildet.

Die Musteranlagen und die resultierenden Ergebnisse sind im Folgenden beschrieben.

### 6.3.1 NBA A3/A7/A70/A73 Nürnberg-Schweinfurt

#### Beschreibung der NBA A3/A7/A70/A73

Die NBA A3/A7/A70/A73 Nürnberg-Schweinfurt ist im Januar 2001 in Betrieb gegangen (vgl. Bild 56). Ziel war es, die BAB A 3 zu entlasten, die – insbesondere in den Steigungsbereichen (z. B. Steigerwald) – häufig Stauungen aufwies. Außerdem war die NBA auch wirksam für Tunnelsperrungen auf der BAB A 70.

Die Anlage hat zwei Entscheidungspunkte mit insgesamt 3 Zufahrten:

- am AD Werneck von Norden kommend auf der A 7
- am AK Fürth/Erlangen von Süd-Osten auf der A 3 kommend und von Süden auf der A 73 kommend.

Es handelt sich dabei um 3 Anzeigeketten mit je zwei Wechselwegweisern in Prismentechnik, teilweise mit faseroptischen Einsätzen. Die beeinflusste Streckenlänge (= Summe der Normal- und Alter-

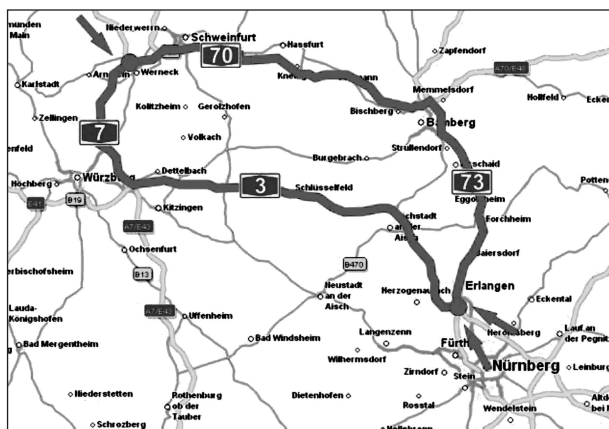


Bild 55: Übersichtsplan Netzmasche NBA Nürnberg-Schweinfurt

nativrouten) beträgt 444 km. Somit berechnet sich der NBA-Kennwert zu  $3 \cdot 48 + 444 = 588$  (vgl. Formel aus Kapitel 4.1.4).

#### Daten für die NBA A3/A7/A70/A73

Zur Durchführung der Lebenszyklusbetrachtung wurden von der Autobahndirektion Nordbayern die TMC-Meldungen des Jahres 2010 zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser Meldungen wurden typische Störfallszenarien entwickelt, die in dieser Netzmasche auftreten.

Die geometrischen Rahmenbedingungen wie Streckenlängen und Anzahl der Fahrsteifen wurden dem Forschungsnehmer vorliegenden Unterlagen zur NBA Nürnberg-Schweinfurt, der DTV der Straßenverkehrszählung 2010 entnommen.

Mit diesen Daten wurde das Berechnungstool der TU München (TUM) zur Nutzenermittlung während der Betriebsphase gespeist.

#### Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung der NBA A3/A7/A 0/A73

Die Ergebnisse der beiden Berechnungsverfahren sind in Tabelle 11 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Betrachtung gemäß den bisherigen Gepflogenheiten (mit einer geplanten Betriebsdauer von 10 Jahren) zu einem Nutzen/Kosten-Verhältnis von 0,19 geführt hätte. Die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus (mit einer Betriebszeit von 12 Jahren) führt zu einem Nutzen/Kosten-Verhältnis von 0,26.

Dies liegt im Wesentlichen an den folgenden Punkten:

- Der Auswirkung, dass die Investitionskosten auf 12 Jahre anstatt auf 10 Jahre verteilt werden.
- Die Lebenszyklusbetrachtung rechnet nur etwa mit 55 % der laufenden Kosten in der Betriebsphase wie die herkömmliche Methode.
- Die Kosten der Planungs- und Rückbauphase fallen insgesamt gering aus.

Es ergeben sich bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus' geringere Kosten wie bei dem bisherigen Verfahren. Diesen Kosten steht jedoch ein höherer Nutzen gegenüber, da mit einer längeren Einsatzzeit gerechnet wird. Die Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen der Anlage ist eher vernachlässigbar.

Gesamtübersicht für NBA Nürnberg-Schweinfurt					
		gemäß Muster-RE-Entwurf		gemäß Lebenszyklusbetrachtung	
Geplante Betriebsdauer		10 Jahre		12 Jahre	
		pro Jahr	gesamt	pro Jahr	gesamt
Planungsphase	Personalkosten Straßenverwaltung			1.470 €	17.640 €
	Kosten externe Planer			12.740 €	152.880 €
	Summe Kosten Planungsphase			14.210 €	170.520 €
Bauphase	Personalkosten Straßenverwaltung			980 €	11.760 €
	Kosten externe Planer			10.780 €	129.360 €
	Summe Personalkosten Bauphase			11.760 €	141.120 €
	Investitionskosten	515.697 €	4.399.000 €	441.933 €	4.399.000 €
Betriebsphase	Energiekosten			18.246 €	218.952 €
	Instandhaltungskosten			68.726 €	824.712 €
	Personalkosten Straßenverwaltung			16.160 €	193.920 €
	Kosten externe Planer			0 €	0 €
	Summe Laufende Kosten Betriebsphase gesamt	219.950 €	2.199.500 €	103.132 €	1.446.304 €
Rückbauphase	Personalkosten Straßenverwaltung			490 €	5.880 €
	Kosten für Abbau und Entsorgen			14.700 €	176.400 €
	Restwert			-10.276 €	-123.311 €
Kosten	Summe Kosten	735.647 €	6.598.500 €	575.949 €	6.215.913 €
Nutzen	Verbesserung Verkehrsfluss – Reisezeitänderung	166.455 €	1.664.548 €	166.455 €	1.997.457 €
	Verb. Verkehrsfluss – geänderte Fahrzeugbetriebskosten	-23.500 €	-235.000 €	-23.500 €	-282.000 €
	Verbesserung Verkehrssicherheit	-2.523 €	-25.227 €	-2.523 €	-30.272 €
	Schadstoffreduzierung (HBEFA)			40.100 €	481.200 €
	Kraftstoffverbrauchsreduzierung (HBEFA)			-51.219 €	-614.633 €
	Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen			-3.056 €	-36.674 €
	Summe Nutzen	140.432 €	1.404.321 €	149.757 €	1.797.078 €
NKV	Nutzen/Kosten-Verhältnis	0,19		0,26	

Tab. 11: Ergebnisse der Nutzen/Kosten-Betrachtung der NBA Nürnberg-Schweinfurt

### 6.3.2 SBA A5 Frankfurt-Gambacher Kreuz

#### Beschreibung der SBA A5

Im Jahre 1989 wurde auf der BAB A 5 zwischen Frankfurt Westkreuz und AK Bad Homburg eine SBA eingerichtet, um den hochbelasteten Streckenabschnitt zu entschärfen. Die Anlage besteht aus 34 AQ/MQ und 2 Wetterstationen. Sie hat eine fahrtrichtungsbezogene Länge von 24,8 km.

Bereits 1996 wurde die Anlage nach Norden bis kurz vor die Tank- und Rastanlage Wetterau verlängert. Hierzu wurden weitere 26 AQ/MQ und 6 Wetterstationen errichtet. Insgesamt betrug nun die Be-

einflussungslänge 57,0 fahrtrichtungsbezogenen Streckenkilometer.

Im Jahr 2005 wurde die Anlage wie folgt umgerüstet:

- Zwischen Nordwestkreuz Frankfurt und AS Friedberg wurde eine TSF in beiden Fahrrichtungen (je 17,8 km / Fahrrichtung) eingerichtet. Hierzu wurden an 43 Verkehrszeichenbrücken ein zusätzliches WVZ, 51 zusätzliche Videokameras und 37 seitliche Fahrstreifenführungstafeln in Form von Prismenwendern angebracht sowie 6 überkopf Wegweiser als Wechselwegweiser umgebaut.

- Zugleich wurde die Anordnung der WVZ der Anlage so umgerüstet, dass an keinem AQ eine Mischung von alten faseroptisch arbeitenden WVZ und neuen LED-WVZ auftritt. Insgesamt wurden 180 überkopf-VDE eingesetzt, die teilweise die alten Schleifen ablösten. Zwei Wetterstationen wurden ausgetauscht, zwei neue ergänzt.

Im Jahre 2008 wurde die Anlage nach Süden bis zur AS Zeppelinheim erweitert. Auf insgesamt 16,5 fahrtrichtungsbezogenen Kilometern wurden 22 AQ/MQ errichtet. Außerdem wurde im Bereich zwischen Flughafen-Nord (A 5/B 43) und AS Niederrad in Fahrtrichtung Norden eine TSF eingerichtet. Hierzu wurden weitere 5 Videokameras und 4 seitliche Fahrstreifenführungstafeln installiert.

2010 erfolgte am 26. Oktober die Freigabe der Erweiterung nach Norden bis zum Gambacher Kreuz. Auf den weiteren 37,6 fahrtrichtungsbezogenen Kilometern wurden 39 AQ/MQ und 11 UDE eingerichtet. Bild 57 gibt einen Gesamtüberblick über die vielfältigen Erweiterungen der VBA A5 bei Frankfurt.

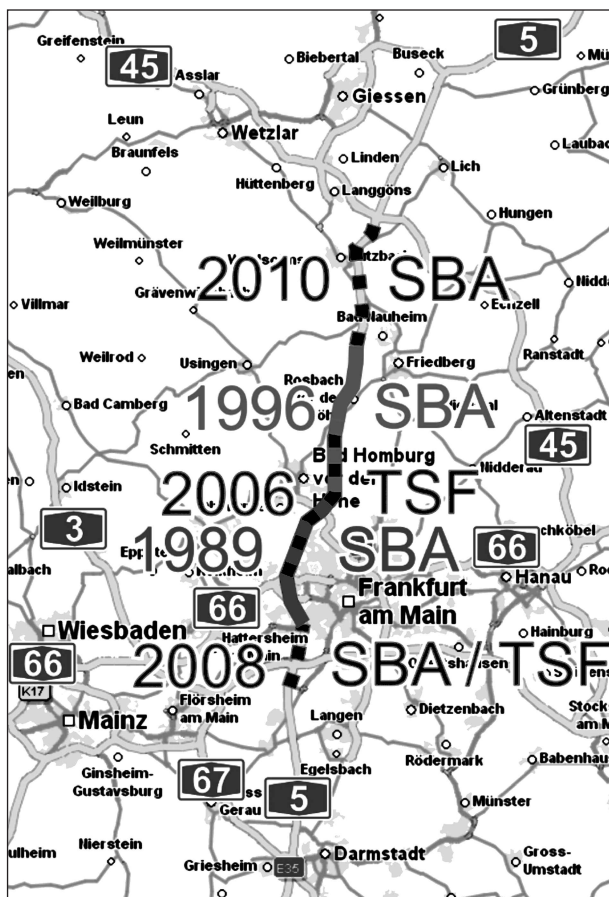


Bild 57: Übersichtsplan SBA A5 Frankfurt

Diese Erweiterung der Anlage nach Norden zwischen der Rastanlage Wetterau und dem Gambacher Kreuz wurde als Musteranlage zum Testen der Lebenszyklusbewertung ausgewählt. Dieser Abschnitt ist neu genug, damit noch Unfalldaten aus einem ex-ante-Zeitraum zur Verfügung stehen, um die Bewertung durchzuführen.

#### Daten für die SBA A5

Zur Durchführung der Lebenszyklusbetrachtung wurden von der Verkehrszentrale Hessen die folgenden Daten zur Verfügung gestellt:

- Unterlagen zur SBA A5,
- Unfalldaten aus den Jahren 2006 bis 2008,
- Störfalldaten aus dem Jahr 2008.

Die geometrischen Rahmenbedingungen wie Streckenlängen und Anzahl der Fahrstreifen wurden aus den Unterlagen zur SBA A5, der DTV und der SV-Anteil der Straßenverkehrszählung 2010 entnommen. Mit diesen Daten wurde das Berechnungstool der TUM zur Nutzenermittlung während der Betriebsphase gespeist.

Detaillierte Unfalldaten konnten nicht zur Verfügung gestellt werden. Es lagen nur die Anzahl der Gesamtunfälle je Streckenabschnitt vor; sie wurden zur Nutzenermittlung in der Betriebsphase herangezogen, jedoch wurden alle Unfälle wie Unfälle mit Sachschaden behandelt. Die Ergebnisse würden sich allerdings noch verbessern, wenn unterschieden werden kann, bei wie vielen der Unfälle es sich um Unfälle mit Personenschaden handelt.

#### Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung der SBA A5

Die Ergebnisse der beiden Berechnungsverfahren sind in Tabelle 12 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Betrachtung gemäß den bisherigen Verfahren (mit einer geplanten Betriebsdauer von 10 Jahren) zu einem Nutzen/Kosten-Verhältnis von 2,41 geführt hätte. Die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus (mit einer Betriebsdauer von 18 Jahren) führt zu einem Nutzen/Kosten-Verhältnis von 3,98.

Es ist deutlich zu sehen, dass sich die Aufteilung der Investitionskosten in der Bauphase, die den größten Posten innerhalb der Kostenliste darstel-

Gesamtübersicht für SBA A5 T&R Wetterau – Gambacher Kreuz					
		gemäß Muster-RE-Entwurf		gemäß Lebenszyklusbetrachtung	
Geplante Betriebsdauer		10 Jahre		18 Jahre	
		pro Jahr	gesamt	pro Jahr	gesamt
Planungsphase	Personalkosten Straßenverwaltung			2.193 €	39.480 €
	Kosten externe Planer			3.917 €	70.500 €
	Summe Kosten Planungsphase			6.110 €	109.980 €
Bauphase	Personalkosten Straßenverwaltung			2.977 €	53.580 €
	Kosten externe Planer			6.893 €	124.080 €
	Summe Personalkosten Bauphase			9.870 €	177.660 €
	Investitionskosten	786.488 €	6.708.900 €	487.795 €	6.708.900 €
Betriebsphase	Energiekosten			38.375 €	690.750 €
	Instandhaltungskosten			185.334 €	3.336.012 €
	Personalkosten Straßenverwaltung			15.802 €	284.436 €
	Kosten externe Planer			1.053 €	18.954 €
	Summe Laufende Kosten Betriebsphase gesamt	335.445 €	3.354.450 €	240.564 €	4.330.152 €
Rückbauphase	Personalkosten Straßenverwaltung			1.410 €	25.380 €
	Kosten für Abbau und Entsorgen			21.933 €	394.800 €
	Restwert			-5.564 €	-100.154 €
Kosten	Summe Kosten	1.121.933 €	10.063.350 €	762.119 €	11.646.718 €
Nutzen	Reisezeitnutzen aus Verbesserung Verkehrsfluss	380.923 €	3.809.234 €	380.923 €	6.856.621 €
	Reisezeitnutzen unfallbedingt	1.200.088 €	12.000.877 €	1.200.088 €	21.601.578 €
	Nutzen aus Verbesserung Verkehrssicherheit	1.119.184 €	11.191.844 €	1.119.184 €	20.145.319 €
	Nutzen aus Schadstoffreduzierung			369.268 €	6.646.820 €
	Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen			-37.089 €	-667.608 €
	Summe Nutzen	2.700.195 €	27.001.955 €	3.032.374 €	54.582.730 €
NKV	Nutzen/Kosten-Verhältnis	2,41		3,98	

Tab. 12: Ergebnisse der Nutzen/Kosten-Betrachtung der SBA A5 T&R Wetterau bis Gambacher Kreuz

len, auf die voraussichtliche Betriebsdauer massiv auswirkt. Der Unterschied, ob man die Investitionskosten auf 10 Jahre oder auf 18 Jahre verteilt, ist erheblich.

Der Jahreswert für die laufenden Kosten in der Betriebsphase liegt bei der Lebenszyklusbetrachtung deutlich niedriger als gemäß der Grobschätzung nach Muster-RE-Entwurf, so dass die Gesamtkosten für den Betrieb der Anlage in der Lebenszyklusbetrachtung nach 18 Jahren nur 30 % höher liegen als nach 10 Jahren gemäß Muster-RE-Entwurf.

Kosten der Planungs- und Rückbauphase sind im Ganzen gesehen eher marginal und vernachlässig-

bar. Insgesamt ergeben sich für die 18 Jahre Lebenszyklusbetrachtung kaum höhere Kosten wie nach Muster-RE-Entwurf sich für 10 Jahre Betrieb ergeben, weil die im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens ermittelten Kostensätze in der Betriebsphase deutlich niedriger sind als bisher geschätzt.

Diesen Kosten steht jedoch ein um den Faktor zwei höherer Nutzen gegenüber; zum einen, weil die Betriebszeit der Anlage sich um den Faktor 1,8 verlängert, zum anderen, weil noch ein zusätzlicher Nutzen aus der Schadstoffreduzierung hinzukommt. Die Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen der Anlage schlägt dagegen nicht stark ins Gewicht.



### 6.3.3 ZFR A4

#### Beschreibung der ZFR A4

Die ZFR A4 besteht aus 2 einzelnen Zuflussregelungen an 2 aufeinander folgenden Anschlussstellen in Fahrtrichtung Köln. Bild 58 gibt einen Überblick über die ZFR A4.

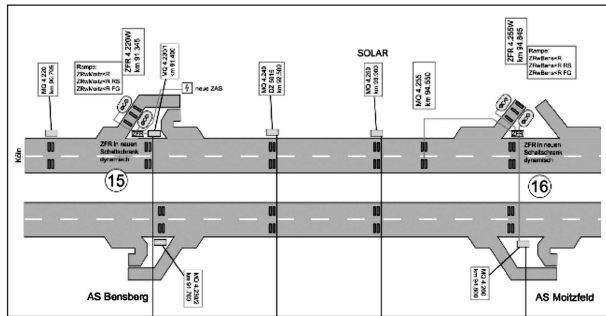


Bild 58: Übersichtsplan ZFR A4

Sie wurde im Dezember 2009 zur Verbesserung des Verkehrsflusses auf der A 4 in Betrieb genommen. Nach Aussage des Betreibers konnten durch die Regelung des Zuflusses die vorher aufgetretenen Verkehrsstörungen auf der Hauptfahrbahn reduziert werden.

#### Daten für die ZFR A4

Zur Durchführung der Lebenszyklusbetrachtung wurden vom Landesbetrieb Straßen.NRW die folgenden Daten zur Verfügung gestellt:

- Verkehrsdaten von einem typischen Monat in 1-Minutenintervallen:
  - q, v auf der Rampe,
  - q, v auf der Hauptfahrbahn stromaufwärts,
  - q auf der Hauptfahrbahn stromabwärts,

Gesamtübersicht für ZFR A4 Bensberg-Moitzfeld					
Geplante Betriebsdauer		gemäß Muster-RE-Entwurf		gemäß Lebenszyklusbetrachtung	
		10 Jahre		18 Jahre	
		pro Jahr	gesamt	pro Jahr	gesamt
Planungsphase	Personalkosten Straßenverwaltung			333 €	6.000 €
	Kosten externe Planer			422 €	7.600 €
	Summe Kosten Planungsphase			756 €	13.600 €
Bauphase	Personalkosten Straßenverwaltung			267 €	4.800 €
	Kosten externe Planer			89 €	1.600 €
	Summe Personalkosten Bauphase			356 €	6.400 €
	Investitionskosten	13.810 €	117.800 €	8.565 €	117.800 €
Betriebsphase	Energiekosten			908 €	16.344 €
	Instandhaltungskosten			1.370 €	24.660 €
	Personalkosten Straßenverwaltung			1.744 €	31.392 €
	Kosten externe Planer			448 €	8.064 €
	Summe Laufende Kosten Betriebsphase gesamt	5.890 €	58.900 €	4.470 €	80.460 €
Rückbauphase	Personalkosten Straßenverwaltung			78 €	1.400 €
	Kosten für Abbau und Entsorgen			733 €	13.200 €
	Restwert			811 €	14.600 €
Kosten	Summe Kosten	19.700 €	176.700 €	15.768 €	247.460 €
Nutzen	Nutzen aus Verbesserung Verkehrsfluss	189.360 €	1.893.604 €	189.360 €	3.408.487 €
	Nutzen aus Verbesserung Verkehrssicherheit	1.497 €	14.970 €	1.497 €	26.946 €
	Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen			-4.844 €	-87.185 €
	Summe Nutzen	190.857 €	1.908.574 €	186.014 €	3.348.248 €
NKV	Nutzen/Kosten-Verhältnis	9,69		11,80	

Tab. 13: Ergebnisse der Nutzen/Kosten-Betrachtung der ZFR A4 Bensberg-Moitzfeld

- Grünzeit und Umlaufzeit der ZFR bei Schaltung

sowie vom Polizeipräsidium Köln:

- Unfalldaten über 3 Jahre (2006 bis 2008) im Bereich von der beiden ZFRn zwischen km 96,0 und km 90,0 in Fahrtrichtung Köln.

Die geometrischen Rahmenbedingungen wurden dem Übersichtsplan (vgl. Bild 58) entnommen.

Diese Daten wurden dazu verwendet, das Berechnungstool der TUM zur Nutzenermittlung während der Betriebsphase zu versorgen.

Da die Geschwindigkeiten auf der Rampe nicht verfügbar waren, wurden sie mit 45 km/h angenommen.

### Ergebnisse der Lebenszyklusbetrachtung der ZFR A4

Die Ergebnisse der beiden Berechnungsverfahren sind in Tabelle 13 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Betrachtung gemäß den bisherigen Verfahren (mit einer geplanten Betriebsdauer von 10 Jahren) zu einem Nutzen/Kosten-Verhältnis von 9,69 geführt hätte. Die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus (mit einer Betriebsdauer von 18 Jahren) ergibt ein Nutzen/Kosten-Verhältnis von 11,80.

Die jährlichen Investitionskosten liegen bei der Lebenszyklusbetrachtung deutlich niedriger, die laufenden Kosten in der Betriebsphase geringfügig niedriger, als nach dem herkömmlichen Verfahren.

Obwohl bei der Lebenszyklusbetrachtung zusätzliche Kostenarten auftreten, bleiben die jährlichen Gesamtkosten niedriger als die jährlichen Gesamtkosten gemäß Muster-RE-Entwurfs-Verfahren.

Bei den Nutzen fällt die Nutzenreduktion aufgrund von Ausfällen mit weniger als 1 % nicht ins Gewicht.

## 7 Bewertungstool

### 7.1 Generelles

Zur Berechnung der Nutzen und Kosten in den einzelnen Lebenszyklen werden „Lifecycle-Tools“ für die Anlagentypen NBA, SBA, TSF und ZFR erstellt.

Es wurde entschieden, dass die Nutzenberechnung während der Betriebsphase der Anlage teilweise auf bestehende Excel-Tools aufsetzen soll, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts 'Ermittlung der Wirksamkeit von VBA'“ (BUSCH et al. 2009) entwickelt wurden. Es handelt sich dabei um die Excel-Tools

- NBA\_Wirkungsschätzung\_Verkehrsfluss,
- NBA\_Wirkungsschätzung\_Verkehrssicherheit,
- SBA\_Wirkungsschätzung,
- KBA\_Wirksamkeit\_Verkehrssicherheit,
- KBA\_ZFR\_Wirksamkeit\_Verkehrsfluss,
- KBA\_VariableFSzuteilung\_Wirksamkeit\_Verkehrsfluss.

Diese Tools benötigen sehr spezifische Daten als Eingabe, mit deren Hilfe die Geometrie der Anlage und die Verkehrssituation in der Anlage beschrieben werden. Mit diesen Daten werden die jährlichen Nutzen der Anlage während des Betriebs errechnet.

Die Excel-Tools dienen aus Sicht der Lebenszyklusbewertung im Wesentlichen dazu die „bewertungsrelevanten Größen“ für die unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus bereitzustellen.

Da es sich bei den bereits vorliegenden Tools, die eingebunden werden sollen, um Excel-Tools handelt, lag es nahe, das gesamte „VBA-Lifecycle-Tool“ als Excel-Tool auszubilden. Hierzu werden die o. g. Excel-Tools als einzelne Bausteine für die Berechnung der Nutzen in der Betriebsphase genutzt.

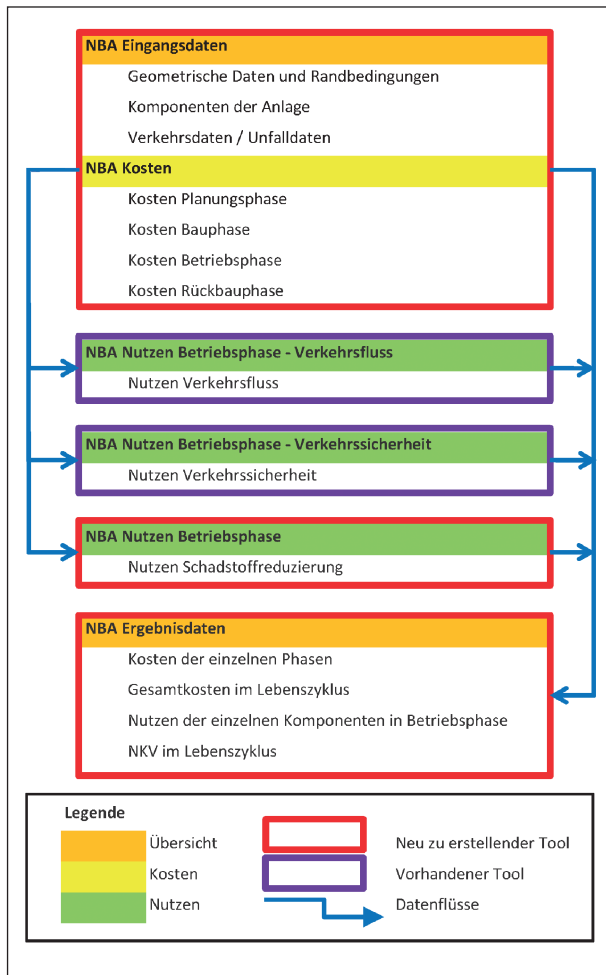
Erweitert wird die Nutzenberechnung in der Betriebsphase um weitere Nutzenkomponenten wie

- Kraftstoffersparnis und
- Reduktion von Luftschadstoff- und Klimagasemissionen.

Außerdem werden zusätzliche Excel-Files erstellt wie

- Eingangsdatenbaustein und
- Ergebnisdatenbaustein.

Auf diese Weise muss der Anwender zwar im Hintergrund alle Excel-Files, die zu einem Anlagentyp gehören, offen halten, aber tatsächlich nur im



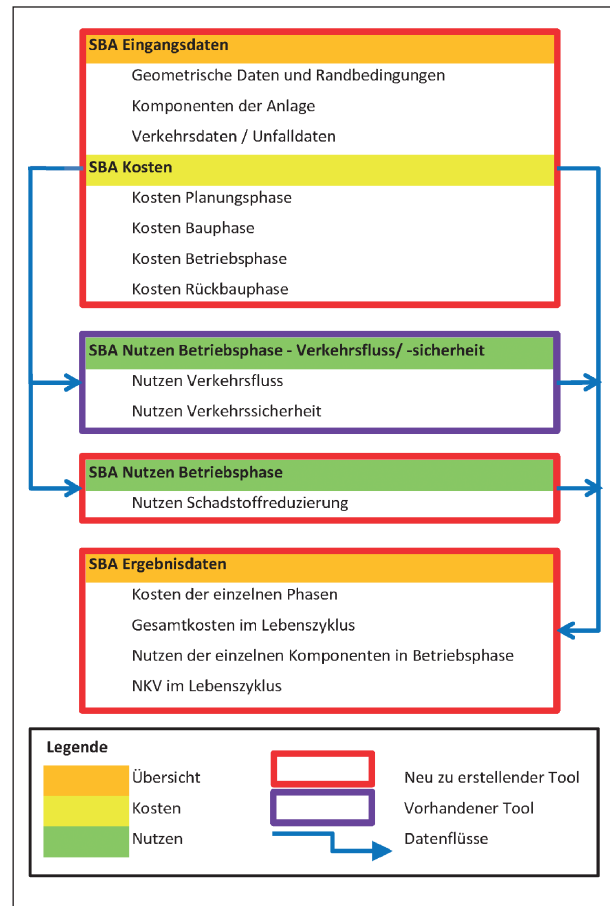
**Bild 59:** Gliederung des VBA-Lifecycle-Tools für NBAn

Excel-File „Eingangsdaten“ Eingaben vornehmen. Die Ergebnisse werden im File „Ergebnisdaten“ eingelesen und zusammengefasst.

Bisher existiert bei den vorhandenen Excel-Tools noch keine Möglichkeit des Im-/Exports; alle Daten müssen von Hand eingegeben werden und ggf. dann so gespeichert werden. Deshalb müssen an den bestehenden Excel-Tools Änderungen vorgenommen werden, indem anstatt der Werte Formeln hinterlegt werden, welche aus dem entsprechenden Eingangsdatenfile einlesen werden.

Möchte ein Anwender unterschiedliche Projekte bewerten, legt er sich sinnvollerweise für jede zu bewertende VBA-Variante eine Kopie des gesamten Excel-Tools an und verwendet verschiedene Bezeichnungen.

Die Tools werden derart strukturiert, dass jeweils ein Ordner mit den entsprechenden Excel-Files für einen Anlagentyp bereit gestellt wird.



**Bild 60:** Gliederung des VBA-Lifecycle-Tools für SBAn

Generelle Anmerkungen zum Arbeiten mit den Lifecycle-Tools sind Anlage 3 zu entnehmen.

Alle Tools umfassen sowohl bereits bestehende Bausteine als auch neue Bausteine. In Bild 59 bis Bild 62 ist die Struktur der Excel-Tools für die vier Anlagentypen dargestellt. Die vorhandenen Bausteine sind „violett“ umrahmt, die neu erstellten Bausteine „rot“.

Für die Ausführung des TSF-Lifecycle-Tools sind für den Anwender zusätzliche Aufwendungen erforderlich. In diesem Fall wird zur Ermittlung der Investitionskosten und zur Berechnung der Nutzen der Betriebsphase das Programmsystems AVP (SSP 2002) herangezogen.

Deshalb muss ein Teil der Eingabedaten in das Programmsystem AVP eingegeben werden, einen anderen Teil in das Lifecycle-Tool. Die Ergebnisse aus dem Programmsystem AVP sind in das TSF-Lifecycle-Tool zu kopieren.

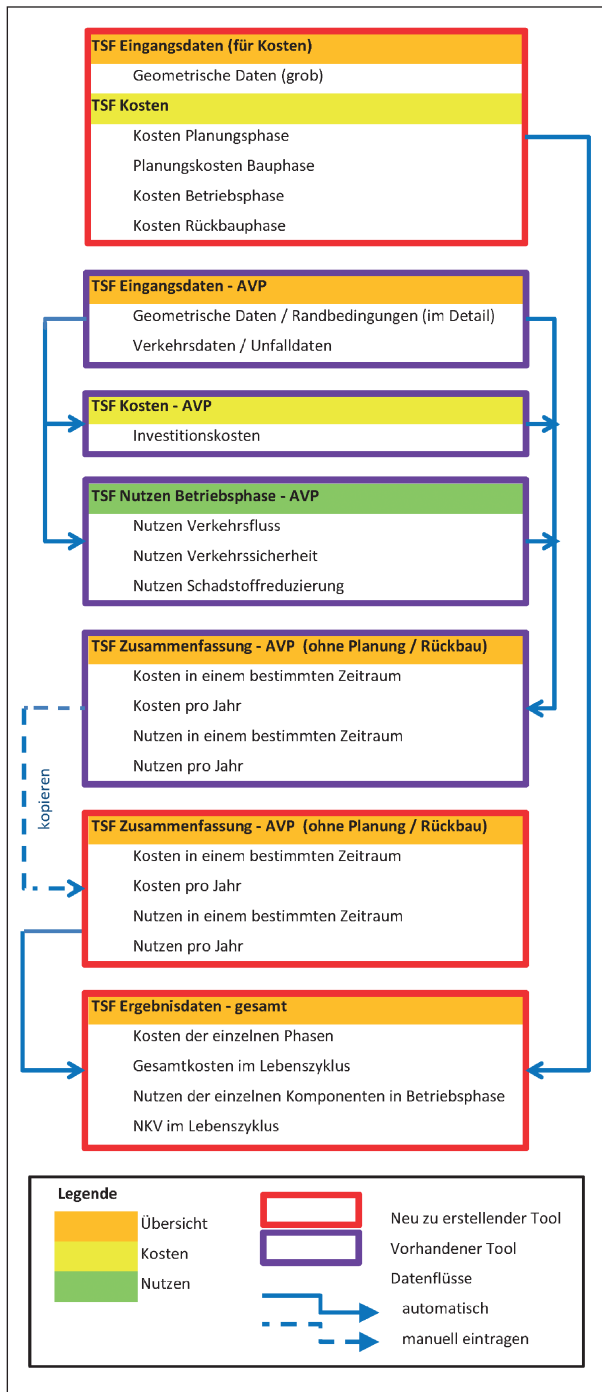


Bild 61: Gliederung des VBA-Lifecycle-Tools für TSFn

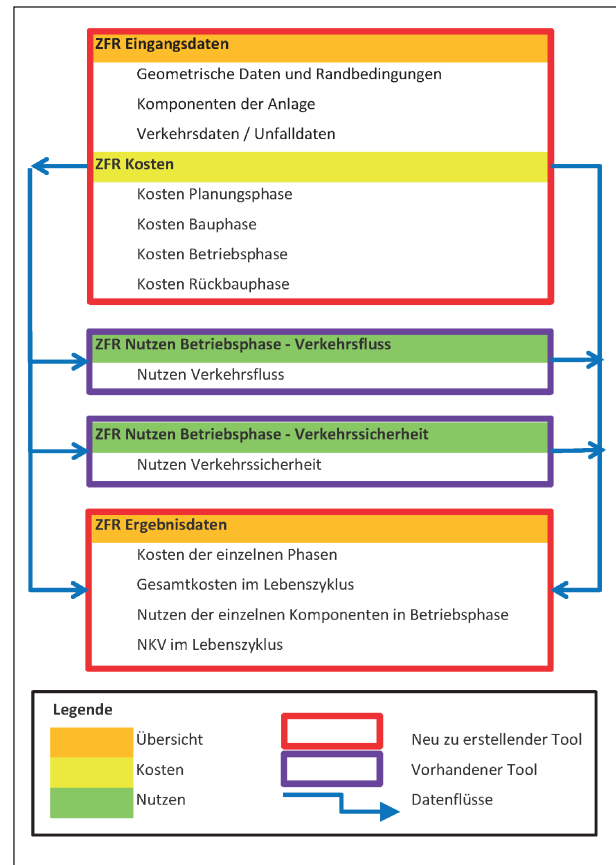


Bild 62: Gliederung des VBA-Lifecycle-Tools für ZFRn

## 7.2 NBA-Lifecycle-Tool

Der Ordner umfasst 5 Arten von Excel-Dateien mit den folgenden Bezeichnungen:

- NBA\_Eingangsdaten,
- NBA\_Nutzen\_Verkehrsfluss (10-fach),
- NBA\_Nutzen\_Verkehrssicherheit (2-fach),
- NBA\_Nutzen\_Schadstoffreduzierung,
- NBA\_Ergebnisdaten.

Die Beschreibung der Anwendung der einzelnen Bausteine des NBA-Lifecycle-Tools erfolgt in Anlage 4.

Aufgrund der Tatsache, dass die Excel-Tools der TUM nur eine Fahrtrichtung in einer Netzmasche abbilden können, müssen sowohl das Excel-Tool NBA\_Nutzen\_Verkehrsfluss, als auch das Excel-Tool NBA\_Nutzen\_Verkehrssicherheit jeweils doppelt vorgehalten werden. Nur so ist es möglich, die Nutzen für eine NBA, in der jeweils in beide Fahrtrichtungen umgelenkt werden kann, vollständig abzubilden.

Da im Excel-Tool NBA\_Nutzen\_Verkehrsfluss nur ein Störfallszenario abgebildet werden kann, wird dieses File je Fahrtrichtung 5-fach vorgehalten, damit die Möglichkeit besteht, fünf verschiedene Störfallszenarien abzubilden.

Ein Szenario – so wie es im TUM-Tool vorgesehen ist – erscheint zu wenig. In der Regel gibt es in einer Netzmasche mehrere Störungsschwerpunkte. Die Zahl fünf erschien als sinnvoller Kompromiss zwischen einem Szenario, das die Realität sicherlich nicht abbildet, und einem mit immer mehr Szenarien unhandlich werdenden Tool, das eine Vielzahl von Szenarien verarbeiten kann.

Das heißt einerseits, dass bei kleineren Anlagen die fünf Szenarien nicht ausgeschöpft werden müssen, andererseits bedeutet es, dass man bei Anlagen mit mehr als fünf Störungsschwerpunkte je Richtung diese sinnvoll zusammenfassen muss, um das Tool bedienen zu können.

Diese Festlegung bedeutet, dass im NBA-Lifecycle-Tool gleichzeitig 15 Excel-Files enthalten sind und bei der Bearbeitung gleichzeitig geöffnet sein müssen. Dies ist ein Punkt, der verbesserungsbedürftig ist.

### 7.3 SBA-Lifecycle-Tool

Der Ordner umfasst 4 Excel-Dateien mit den folgenden Bezeichnungen:

- SBA\_Eingangsdaten,
- SBA\_Nutzen\_Verkehrsflusssicherheit,
- SBA\_Nutzen\_Schadstoffreduzierung,
- SBA\_Ergebnisdaten.

Die Beschreibung der Anwendung der einzelnen Bausteine des SBA-Lifecycle-Tools erfolgt in Anlage 5.

Das Excel-Tool der TUM ist beschränkt auf die Abbildung von 8 Streckenabschnitten. Auch hier ist die Abbildung einer Gegenrichtung nicht vorgesehen.

Streckenabschnitte mit ähnlicher Streckencharakteristik und ähnlichem Verkehrsablauf können zusammengefasst werden. Die Streckenabschnitte der Gegenrichtung werden wie eine fortlaufende Anlage behandelt.

### 7.4 TSF-Lifecycle-Tool

Der Ordner umfasst 3 Excel-Dateien mit den folgenden Bezeichnungen:

- TSF\_Eingangsdaten,
- TSF\_Zusammenfassung-AVP,
- TSF\_Ergebnisdaten

sowie das AVP-Programm.

Die Stammdaten im AVP-Programm sind derzeit unveränderlich. Daher wurden in dem Lifecycle-Tool keine Änderungsmöglichkeiten für die Parameter vorgesehen.

Die Beschreibung der Anwendung der einzelnen Bausteine des TSF-Lifecycle-Tools erfolgt in Anlage 6.

### 7.5 ZFR-Lifecycle-Tool

Der Ordner umfasst 4 Excel-Dateien mit den folgenden Bezeichnungen:

- ZFR\_Eingangsdaten,
- ZFR\_Nutzen\_Verkehrsfluss,
- ZFR\_Nutzen\_Verkehrssicherheit,
- ZFR\_Ergebnisdaten.

Die Beschreibung der Anwendung der einzelnen Bausteine des ZFR-Lifecycle-Tools erfolgt in Anlage 7.

ZFRn müssen einzeln bewertet werden, da die Excel-Tools der TUM (ZFR\_Nutzen\_Verkehrsfluss und ZFR\_Nutzen\_Verkehrssicherheit) auch immer nur den Nutzen für eine KBA errechnen können.

## 8 Zusammenfassung

Seit Ende der 80iger Jahre sind auf den Autobahnen in Deutschland eine ganze Reihe von automatisch gesteuerten Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) im Einsatz. Diese Anlagen erhöhen die Leistungsfähigkeit und die Verkehrssicherheit auf den Autobahnen. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung hat den Bau in den 90iger Jahren stark forciert und in einem Rahmenprogramm gefördert.

Vor Bereitstellung der Mittel zum Neubau oder zur Erneuerung einer Anlage wird von der betreffenden Länderbehörde dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ein RE-Entwurf vorgelegt, in dem die Notwendigkeit der Anlage dargelegt und ihre Wirksamkeit nachgewiesen wird. Bisher wurden i. d. R. alle diesbezüglichen Bewertungsverfahren in der Art durchgeführt, dass die zu erwartenden, monetarisierten Nutzen der Anlage (= Summe der jährlichen Nutzen aller Nutzenkomponenten) durch die Kosten der Anlage (= Investitionskosten der Anlage über einen Abschreibungszeitraum von i. d. R. zehn Jahren als Jahreskosten plus ein pauschalisierter Prozentsatz für die laufenden Kosten) dividiert wurden. Über das so ermittelte Nutzen-/Kosten-Verhältnis wurde die Bauwürdigkeit gesamtwirtschaftlich beurteilt.

Im Rahmen der Nutzen-/Kostenbetrachtung blieb bislang ein großer Teil der anfallenden Kosten einer Anlage ebenso unberücksichtigt wie die Tatsache, dass die Anlagen i. d. R. mehr als 10 Jahre in Betrieb sind.

Vor diesem Hintergrund sollte dieses Forschungsprojekt die Frage klären, welche Nutzen (i. d. R. volkswirtschaftliche Nutzen) und Kosten solche Anlagen im Zuge ihres Lebenszyklus' implizieren. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, aufzuzeigen, wie sich solche Nutzen-/Kosten-Verhältnisse präzisieren lassen, wenn der gesamte Lebenszyklus einer Verkehrsbeeinflussungsanlage betrachtet wird.

Zunächst wurde eine umfassende Literaturanalyse durchgeführt. Als maßgebende Grundlagen wurden vor allem die verschiedenen Versionen der Muster-RE-Entwürfe aus den Jahren 1993, 2009 und 2012 angesehen. Eine weitere wesentliche Quelle sind die Hinweise zur Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (FGSV 2007) und die Begleitforschung der Technischen Universität München (BUSCH et al. 2009), die teilweise die in FGSV 2007 beschriebenen Verfahren als Excel-Tools umgesetzt hat. Weiterhin sind das Arnold-Verfahren zur Berechnung der Nutzen von TSFn (2001), das von SSP Consult 2002 in Form des AVP-Programmsystems umgesetzt wurde und das Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) zu nennen, das als Basis für die folgenden Berechnungsverfahren dient:

- Nutzen aus Kraftstoffersparnis,
- Nutzen aus der Ersparnis von Fahrzeugbetriebskosten für Nutzer (außer Kraftstoff),

- Nutzen aus Reduktion der Luftschadstoffemissionen,
- Nutzen aus Reduktion der Klimagasemissionen.

Darüber hinaus wurde eine Vielzahl von Untersuchungen ausgewertet, die im Zusammenhang mit der Ermittlung von Kosten und Nutzen von Verkehrsbeeinflussungsanlagen im Rahmen ihres Lebenszyklus' stehen sowie Untersuchungen, in denen grundsätzlich auf die Lebenszyklusbetrachtung eingegangen wird.

Es wurde in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt, wie sich die Nutzen-/Kosten-Verhältnisse von VBA präzisieren lassen, wenn der gesamte Lebenszyklus einer VBA betrachtet wird. Hierzu wurde der Lebenszyklus in sinnvolle Abschnitte (Lebensphasen) unterteilt, die zum einen nicht zu kurz sein sollten und zum anderen relativ gleichmäßige Aufwände und Nutzen über ihre Dauer aufweisen sollten. Unter Beachtung dieser Aspekte kristallisierten sich vier wesentliche Lebensphasen heraus:

- Planungsphase von der ersten Planung bis einschl. der Einholung der Angebote für die Erstellung der Anlage,
- Bauphase von Beginn des ersten Spatenstichs bis zur Abnahme der Anlage nach erfolgreicher Durchführung des „offenen Probebetriebs“,
- Betriebsphase von unmittelbar nach der Abnahme der Anlage bis zur Ausschaltung der Anlage,
- Rückbauphase ab dem Abschalten der Anlage bis zur Beendigung der Rückbauarbeiten.

Diese Lebensphasen bilden den klassischen Lebenszyklus ab: eine Anlage wird geplant, aufgebaut, ist in Betrieb und wird wieder abgebaut, sobald sie ihren Zweck erfüllt hat.

Im nächsten Schritt wurde das Bewertungsmodell konzipiert. Es wurden die Kosten- und Nutzenarten festgelegt, die im Zuge eines Lebenszyklus' einer VBA anfallen.

Die in das Bewertungsverfahren eingehenden Kosten der einzelnen Lebenszyklen wurden über eine Befragung einzelner Straßenbauverwaltungen der Länder zu speziellen Anlagen erhoben, die bereits entsprechend lange in Betrieb sind, damit von einem Lebenszyklus gesprochen werden kann. Hierzu wurde ein Fragebogen entworfen und versendet. Aufgrund der Vielzahl der abgefragten Informationen waren die Rücklaufquote und die An-

zahl der beantworteten Fragen zunächst unbefriedigend. Nach vielen telefonischen Rückfragen und einzelnen Expertengesprächen konnte jedoch ein einigermaßen abgerundetes Bild der erforderlichen Angaben erreicht werden. Lediglich einzelne Kostenarten sind aufgrund des geringen statistischen Umfangs nicht belastbar.

Bei der Nutzenermittlung wurde berücksichtigt, dass sich lebensphasenabhängige und betriebszustandsspezifische Nutzen der Anlagen ergeben.

In der Bauphase wurden negative Nutzen durch Verkehrsstörungen erwartet, die durch die Bautätigkeit ausgelöst werden. Die Befragung der Straßenbauverwaltungen der Länder hat dies allerdings nicht bestätigt, sondern ergeben, dass die negativen Nutzen in der Bauzeit vernachlässigbar sind. Das Gleiche gilt auch für eventuellen negativen Nutzen in der Erneuerungs-/Rückbauphase, die durch Bautätigkeiten ausgelöst werden.

In der Betriebsphase entsteht der wesentliche Nutzen der Anlage. Durch Erhaltungstätigkeiten oder Ausfälle gibt es nur sehr geringe Ausfälle, die den Nutzen beeinträchtigen. Die Häufigkeit solcher Ereignisse wurde im Rahmen der Befragung der Straßenbauverwaltungen erhoben. Die Dauern der Anlagenausfälle wurden bei den Anlagen mit rechtsverbindlichen Anzeigen mit 0,5 % in den ersten Betriebsjahren angesetzt und können im Modell für die späteren Betriebsjahre entsprechend erhöht werden.

Eine wesentliche Erkenntnis war die Tatsache, dass mit deutlich höheren Lebensdauern der Anlagen gerechnet werden kann, als dies bisher geschehen ist. Es zeigte sich, dass von folgenden Erwartungsdauern für die Betriebsphase ausgegangen werden kann:

- von 10 Jahren für TSFn,
- von 12 Jahren bei NBAn,
- von 18 Jahren bei SBAn und ZFRn,

wobei TSFn theoretisch auch länger einsetzbar wären; lediglich ihre Eigenschaft als Übergangslösung lässt „nur“ einen geplanten Einsatz von 10 Jahren zu.

Die Nutzenermittlung im Betriebszustand „Normalbetrieb“ erfolgt gemäß den vorhandenen Verfahren des Merkblatts (FGSV 2007) und der Ergänzungsuntersuchung (BUSCH et al. 2009). Für SBAn mit

TSF wird das AVP-Programmsystem (SSP Consult 2002) eingesetzt, das auf dem Arnold-Verfahren (ARNOLD 2001) basiert.

Zur Ermittlung der Nutzenkomponenten „Kraftstoffersparnis“ und „Reduktion Luftschadstoff- und Klimagasemissionen“ im Normalbetrieb werden die Verfahren für NBAn und SBAn entsprechend der Vorgaben aus dem HBEFA ergänzt.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden Lifecycle-Tools in Form von Excel-Tools entwickelt. Je Anlagentyp wird ein Set von Excel-Dateien bereit gestellt, mit deren Hilfe relativ einfach unter Einfügen von Daten der Streckengeometrie, Verkehrs- und Unfalldaten sowie den geplanten Komponenten einer VBA die künftige Wirtschaftlichkeit über den Lebenszyklus abgeschätzt werden kann.

In diese Lifecycle-Tools eingebunden sind die Excel-Tools der TUM, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts ‚Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen‘ (FE 03.0425/2007/IGB der BAST) entwickelt wurden.

Anhand der Daten von drei Musteranlagen wurden die Kosten und Nutzen über deren Lebenszyklus berechnet und den Ergebnissen einer nach bisherigen Verfahren durchgeführten NKA gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass die NKV-Werte aller drei Anlagentypen bei der Betrachtung des Lebenszyklus höher abschneiden, als beim bisherigen Ansatz gemäß Muster-RE-Entwurf.

Dies hat folgende Gründe. Bei der Lebenszyklusbetrachtung

- werden die Investitionskosten über einen größeren Abschreibungszeitraum verteilt; somit sinken die jährlichen Kostenanteile,
- liegen die jährlichen laufenden Betriebskosten bei allen Anlagentypen unter dem pauschalisierten Prozentsatz gemäß Muster-RE-Entwurf,
- sind die restlichen Aufwendungen (wie Kosten für Planung, Bauüberwachung und Rückbau), die in der NKA gemäß Muster-RE-Entwurf nicht berücksichtigt werden, fast vernachlässigbar,
- stehen all diesen Kosten aber deutlich höhere Nutzen gegenüber, da fast in allen Fällen mit längeren Betriebsdauern gerechnet werden kann.

Aufgrund dieser Bedingungen ergeben sich bei der Lebenszyklusbetrachtung grundsätzlich höhere NKV-Werte als bei der bisherigen Betrachtungsweise. Das bedeutet, dass sich in vielen Fällen mit der Lebenszyklusbetrachtung eine Bauwürdigkeit für einen Anlage ergibt, in denen sich diese Anlage nach dem Muster-RE-Entwurf noch nicht rechnen würde.

Mit den Lifecycle-Tools für VBAn steht dem Anwender ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dessen Hilfe er bei Vorliegen der erforderlichen Daten innerhalb weniger Minuten eine Nutzen/Kosten-Abschätzung für den entsprechenden Anlagentyp vornehmen kann.

## 9 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

In den folgenden vier Themenbereichen besteht noch Verbesserungsbedarf sowie Handlungsbedarf für die Praxis:

- Vorteile und Nachteile des neuen Ansatzes,
- Verbesserungsvorschläge der Straßenbauverwaltungen,
- Vereinheitlichung der Verfahren zur Nutzenermittlung,
- Optimierungspotenzial an den Tools der TUM.

### Vorteile und Nachteile des neuen Ansatzes

Die erhobenen Kosten und Lebensdauern zeigen, dass die Lebenszyklusbetrachtung durchaus realistisch ist. Es muss jedoch in einzelnen Fällen nachgehoben werden. So sind z. B. die Ergebnisse bei folgenden Kostenarten nicht belastbar:

- Planungs- und Bauüberwachungskosten für TSFn,
- Energiekosten für NBAn und ZFRn,
- Instandhaltungskosten für TSFn und ZFRn.

Vorteile der Lebenszyklusbetrachtung gegenüber dem Verfahren nach Muster-RE-Entwurf sind

1. -die Erkenntnis, dass mit deutlich höheren Betriebsdauern der Anlagen gerechnet werden kann,

2. -die differenziertere Gesamtkosteneinschätzung und die damit verbundene höhere Qualität der Betriebskostenschätzung aufgrund der Einzelkostenschätzung.

Als Nachteile der Lebenszyklusbetrachtung gegenüber dem Verfahren nach Muster-RE-Entwurf werden vor allem zwei Themenkreise gesehen:

- Durch den Einsatz neuer Technologien bei den Anlagenkomponenten oder durch neue Algorithmen, die zu weniger Betreuungsaufwand führen, kann es Änderungen bei den verschiedenen Kostenarten kommen. Deshalb ist ein regelmäßiges Fortschreiben der Kostenerhebung erforderlich.
- Bedingt durch die teilweise sehr stark verlängerten Betriebszeiten ist es erforderlich, den heute ermittelten jährlichen Nutzen auf einen bedeutend längeren Zeitraum hochzurechnen. Hier stellt sich – insbesondere bei der Betrachtung der Nutzen durch Erhöhung der Verkehrssicherheit – die Frage, ob dies über einen so langen Zeitraum sinnvoll ist und inwiefern die fehlende Kenntnis über die allgemeine Unfallentwicklung dies überhaupt zulässt. Durch die verlängerten Prognosezeiträume ist die Hochrechnung der Nutzen mit Unsicherheiten behaftet.

Das bisherige Verfahren gemäß Muster-RE-Entwurf berücksichtigt die Investitionskosten und die Betriebskosten. Diese betragen über 90 % der gesamten, im Laufe des Lebenszyklus' auftretenden Kosten wie die vorliegende Untersuchung zeigt. Alle anderen Kosten sind vernachlässigbar.

Die erhobenen Lebensdauern zeigen, dass mit erheblich höheren Betriebsdauern gerechnet werden kann. Es bleiben Unsicherheiten hinsichtlich der maximalen Betriebsdauer der Anlagentypen TSF und ZFR, da alle untersuchten Anlagen des Typs TSF noch in Betrieb sind und noch keine der untersuchten Anlagen des Typs ZFR tatsächlich die empfohlene Betriebsdauer von 18 Jahren erreicht hat.

Die Schätzung der Betriebskosten könnte mit Hilfe der neuen Erhebungsdaten differenzierter – und damit genauer – erfolgen, da die Betriebskosten in mehrere Untergruppen unterschieden werden, die einzeln genauer abgeschätzt werden können.

Es wird deshalb vorgeschlagen, in Zukunft die Lifecycle-Tools anzuwenden oder zumindest das bis-



herige Verfahren so zu verändern, dass die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Forschungsvorhaben berücksichtigt werden. Hierzu gehören die Anpassung der Betriebsdauer und die Anpassung der Schätzung der jährlichen Betriebskosten.

Das bedeutet, mit den in Kapitel 6.1.5 empfohlenen Betriebsdauern zu operieren, d. h. bei NBAn mit 12 Jahren und bei SBAn und ZFRn mit 18 Jahren zu rechnen, anstelle der bisherigen 10 Jahre.

Die handliche Formel, die jährlichen Betriebskosten als 10 % der Investitionskosten ohne Tiefbau anzusetzen, kann für SBAn und TSFn beibehalten werden; für NBAn und ZFRn ist dieser Wert zu hoch. Hier läge man mit der Hälfte, also 5 %, deutlich näher an den realistischen Kosten und immer noch auf der sicheren Seite.

### **Verbesserungsvorschläge der Straßenbauverwaltungen**

Bei den Expertengesprächen mit den Straßenbauverwaltungen der Länder kristallisierten sich hinsichtlich der Betrachtung des Lebenszyklus folgende Themen heraus, die als Verbesserungsvorschläge der Straßenbauverwaltungen an den BMVBS verstanden werden können:

1. -Bisher muss für die Erneuerung einer VBA dem BMVBS ein neuer RE-Entwurf vorgelegt werden. Hierzu ist ein Wirtschaftlichkeitsnachweis zu erbringen, der gemäß den Vorgaben des Muster-RE-Entwurfs Verkehrs- und Unfalldaten aus einem Zeitraum vor Inbetriebnahme der VBA umfasst. Daten aus diesen Zeiträumen stehen nach 10 jährigem Betrieb der Anlage als verwertbare „Vorher-Daten“ nicht mehr zur Verfügung. Für diesen Zweck sollte ein vereinfachtes Nachweisverfahren für die Wirtschaftlichkeit einer VBA entwickelt werden, das auf verfügbaren Daten wie Häufigkeit der Schaltung der Anlage o.ä. aufbaut.
2. -Da mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von VBAn von mehr als 10 Jahren gerechnet werden kann (siehe o. g. Erkenntnisse in Kapitel 6.1.2), ist anzudenken, ob die jährliche Instandhaltungskostenpauschale des Bundes an die Länder in Abhängigkeit vom Alter einer VBA auskömmlich gestaltet werden sollte.
3. -Darüber hinaus wurde die Idee aufgeführt, dass die Straßenbauverwaltungen der Länder eigenes Personal aufbauen, das zumindest einen

Teil der Wartungsarbeiten übernimmt. Damit wären die folgenden Vorteile verbunden:

- Eigenes Personal ist schneller verfügbar; somit kann ein Ausfall schneller behoben werden.
- In einem ersten Schritt könnte das eigene Personal die Instandsetzung übernehmen und die regelmäßige Wartung beim Hersteller bleiben.
- Mit der Tätigkeit erwirbt das eigene Personal das Know-how die Instandhaltung durchzuführen.
- Durch Teilsanierungen wird eine Basis für Gerätebevorratung geschaffen
- Nach Ablauf des Wartungsvertrags hat die Straßenbauverwaltung eine bessere Verhandlungsposition.

Bei Länderverwaltungen mit wenigen VBAn könnten eventuell Schwierigkeiten bei der Personaldisposition auftreten.

### **Vereinheitlichung der Verfahren zur Nutzenermittlung**

Für die Nutzenermittlung bei den verschiedenen Anlagentypen werden gemäß FGSV 2007 grundsätzlich unterschiedliche Verfahren mit unterschiedlichen Eingangsdaten eingesetzt. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse für verschiedene VBA-Typen herstellen zu können, wäre eine Vereinheitlichung der Verfahren zur Nutzenermittlung für alle Anlagentypen wünschenswert.

Die Nutzenermittlungsverfahren zur Reisezeitersparnis durch NBAn und SBAn verwenden – im Gegensatz zum Arnold-Verfahren oder den KBA-Verfahren – als Verkehrsbelastung ausschließlich den DTV ohne Verwendung von Tagesganglinien und damit keine stundenfeine Belastungswerte. Die angesetzte Geschwindigkeit zur Ermittlung der Reisezeiten wird geschätzt und basiert nicht auf q-v-Beziehungen.

Im Sinne einer konsistenten Methodik zur Ermittlung des Mengengerüsts über alle Anlagentypen wäre es wünschenswert, grundsätzlich mit Tagesganglinien zu arbeiten und die Mittelwerte für die Geschwindigkeit aus q-v-Beziehungen abzuleiten. Dies würde allerdings eine Überarbeitung der Verfahren des Hinweispapiers (FGSV 2007) bedeuten.

Da im Verfahren zur Nutzenermittlung durch Erhöhung der Verkehrssicherheit für NBA Tagesganglinientypen verwendet werden, könnte auch im Nutzenermittlungsverfahren zur Reisezeitersparnis diese Information verwendet werden; dies wird im Hinweispapier (FGSV 2007) sogar ausdrücklich empfohlen, ist aber so im Tool nicht umgesetzt.

Alle ex-ante-Verfahren benutzen als Eingangsdaten Störungsmeldungen oder Unfalldaten aus dem Zeitraum „ohne VBA“. Dies führt dazu, dass mit diesen Verfahren nur ex ante Betrachtungen möglich sind und führt regelmäßig zu Schwierigkeiten, wenn für eine bestehende Anlage der Wirtschaftlichkeitsnachweis erbracht werden soll und keine Zahlen für die „ohne VBA“-Situation verfügbar sind, weil die „ohne VBA“-Situation bereits seit Jahren nicht mehr besteht.

Es besteht deshalb dringender Handlungsbedarf, Verfahren zur Nutzenermittlung zu entwickeln, die als Eingangsdaten keine Daten aus der „ohne VBA“-Situation benötigen und mit deren Hilfe ein Wirksamkeitsnachweis bei bestehenden, sanierungsbedürftigen VBA erbracht werden kann.

### Optimierungspotenzial an den Tools der TUM

Dem Forschungsnehmer wurden die Tools der TUM unter der Bedingung zur Verfügung gestellt, diese inhaltlich nicht zu verändern. Dadurch müssen einige Bedienungs Nachteile in den Lifecycle-Tools in Kauf genommen werden.

Die Excel-Tools der TUM haben vor allem die Ermittlung der Wirkungen in der Betriebsphase von verschiedenen VBA-Typen im Fokus. Gleichzeitig wurde versucht, mit dem NBA-Excel-Tool zur Berechnung der Nutzen aus Verbesserung des Verkehrsflusses, viele Konstellationen von NBAn abzudecken:

- NBAn mit mehreren Netzmaschen,
- NBAn mit verschiedenen Störfallszenarien.

Dies führt dazu, dass für die Gesamtnutzenermittlung einer Anlage einzelne Tools mehrmals eingesetzt werden müssen. Aus diesem Grund ergibt sich im Zusammenspiel des Lifecycle-Tools mit den Tools der TUM noch Optimierungspotenzial, insbesondere auch unter dem Aspekt der Anwenderfreundlichkeit.

Es wird vorgeschlagen, die NBA-Tools der TUM umzubauen. Anwenderfreundliche Verbesserun-

gen, die das Tool deutlich handlicher gestalten würden, wären

- Zusammenführung der Tools „Nutzen\_Verkehrsfluss“ und „Nutzen\_Verkehrssicherheit“ zu einer Excel-Datei,
- Abbildung beider Fahrtrichtungen der Netzmasche in einer Excel-Datei und
- Ermöglichung zur Bearbeitung von mehreren Störfallszenarien in einer Excel-Datei.

Außerdem ist eine Weiterentwicklung des ZFR-Tools zur Ermittlung des Nutzens aus Verbesserung des Verkehrsflusses erforderlich:

- Im ZFR-Tool sind die Vorgaben des Hinweispapiers (FGSV 2007) zur Berechnung der Zeitkosten nicht korrekt umgesetzt. Da hier in Ein-Minutenintervallen gerechnet wird, müssen bei der Ermittlung der Anzahl der betroffenen Fahrzeuge pro Intervall die gemessenen Verkehrsstärken durch 60 dividiert werden.
- Die Geschwindigkeit auf der Rampe liegt oftmals nicht vor. Von der TUM wird vorgeschlagen, dass man vor Einsatz des Tools Messungen durchführt und diese Ergebnisse verwendet. Dagegen spricht nichts; trotzdem muss das Tool anwendbar sein, auch ohne die Geschwindigkeit vorher zu erfassen. Es wird vorgeschlagen, Standardwerte vorzusehen. In der jetzigen Situation ergeben sich völlig unterschiedliche Nutzen, wenn man unterschiedliche geschätzte Geschwindigkeiten eingibt.

Im Zuge einer Überarbeitung der TUM-Tools würde sich auch die Anpassung und Aktualisierung aller Kostensätze für Kraftstoff, Fahrzeugbetriebskosten, Zeitkosten etc. für alle Verfahren und Tools anbieten.

Für aussagekräftige Ergebnisse ist eine einheitliche Methodik der Unfallkostenbewertung anzustreben, welche aktuell in den TUM-Tools nicht gegeben ist. In manchen Fällen werden pauschale Unfallkostensätze in anderen Fällen getrennte Kostensätze für Getötete, Verletzte und Sachschaden angewendet. Gerade bei kleineren Stichproben, welche in den Bewertungsfällen häufig gegeben sind, können sich erhebliche Unterschiede in den Unfallkosten je nach Bewertungsart ergeben. Das schränkt die Aussagefähigkeit des Vergleichs zwischen verschiedenen Arten von VBA erheblich ein.

Hier wäre eine Vereinheitlichung durch Verwendung von (pauschalen) Unfallkostensätzen für verschiedene Unfallkategorien anzustreben, unabhängig davon, ob diese nach aktuellem Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko) der FGSV von 2012, dem alten Merkblatt von 2003 oder anhand von Kostensätzen der BAST erfolgt.

## 10 Literatur

- ABAY, G., MEIER-EISENMANN, E. (2001): Zweckmäßigkeitkriterien für Infrastruktureinrichtungen von Straßenverkehrstelematik-Systemen. VSS: Forschungsauftrag 10/00 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute
- ARNOLD, M. (2001): Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 820
- BARK, A., KUTSCHERA, R., BAIER, R., KLEMPSKOHNEN, A. (2008): Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen. Aachen/Gießen: Endbericht zu FE 03.389/2005/FGB
- BERNARD, M., AXHAUSEN K. W. (2008): Ein neuer Ansatz für standardisierte Ganglinien. Zürich: Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung, 540, IVT, ETH Zürich
- BREITENBACH, J. et al. (1980): Fahrzeugpuls und Verkehrsstau. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 1/1980, Bonn
- BMVBS (2006): Leitfaden Verkehrstelematik Bonn: Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- BMVBS (2010): Aktualisierung von Bewertungsansätzen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen in der Bundesverkehrswegeplanung. Essen/Freiburg/München: Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- BMVBW (1993): Muster-RE-Entwurf für Verkehrsbeeinflussungsanlagen. Bonn: Verkehrsblatt - verlag S1077
- BUSCH, F., GROSANIC, S., DINKEL, A., SCHIEFERSTEIN, A., STADLER, M. (2009): Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts „Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“. München: Lehrstuhl für Verkehrstechnik, TUM (Endbericht zu FE 03.0425/2007/IGB der BAST)
- DANAES, S., SCHIEFERSTEIN, A., RIEß, S., ERMER, P. (2009): Neue Methoden zur Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen – Teil 1: Zielfunktion zur Wirkungsmodellierung von Harmonisierungsprogrammen und Stauwarnungen. In: SVT 3.2009, Seite 133
- DÖHRN, R.: Die Lage am Stahlmarkt: Stagnierende Produktion, RWI Konjunkturberichte 63 (2), 2012 [http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-konjunkturberichte/KB\\_2-2012\\_Stahl.pdf](http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/rwi-konjunkturberichte/KB_2-2012_Stahl.pdf)
- FELDGES, M., TRAPP, R. (2009): Überarbeitung des Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Endbericht zu FE 03.435/2007/IRB
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen – EWS. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Köln: FGSV-Verlag, Fassung 2009, FGSV 299
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2007): Hinweise zur Wirksamkeitsabschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen. Köln: FGSV-Verlag, FGSV 311
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2008): Hinweise für Zuflussregelungsanlagen. Köln: FGSV-Verlag, FGSV 318
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV (2012): Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko). Köln: FGSV-Verlag, Fassung 2012, FGSV 316/1
- Handbuch Rechnungswesen, <http://www.rechnungswesen-portal.de/>

- HELLMANN, L., RÜBENSAM, J. (2008): Erarbeitung eines Verfahrens zur Minimierung der baustellenbedingten Nutzerkosten für das Erhaltungsmanagement. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 988 (FE 09.133/2003/MRB)
- HELLMANN, L., RÜBENSAM, J., SCHWIETHAL, S. (2008): Entwicklung von Verfahrenshilfen für ein netzorientiertes Baustellenmanagement von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 988 (FE 09.135/2004/MGB)
- HOFFMANN, S., KLOPPE, U., DAMMANN, W., IRZIK, M. (2000): Nachher-Untersuchung der Verkehrsbeeinflussungsanlage für den Messe-schnellweg in Hannover. In: SCHNÜLL et al. (Hrsg.): Innovative Beiträge zum Verkehrsplanungs- und Verkehrsmanagementkonzept für die Weltausstellung EXPO 2000 in Hannover
- HOLZMÜLLER, F. J. (1993): Kostenstruktur von Verkehrsbeeinflussungssystemen. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 660
- INFRAS (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.1., <http://www.hbefa.net/d/>
- KAPPICH, G., WESTERMANN, C., SCHMITZ, R., REITENBERGER, S., VOLKENHOFF, T., KEMPER, D., BRAKE, M., STEINHAUER, B. (2010): Echtzeitbeurteilung und -optimierung der Wirksamkeit von Streckenbeeinflussungsanlagen. Aachen: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1040
- KELLER, M. et al. (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (Version 3.1), Bern
- LAFFONT, S., MAHMOUDI, S., DOHMEN, R., FUNKE-AKBIYIK, R., VIETEN, M. (2011): Quantifizierung der Verlagerungseffekte bei Bundesautobahnen (BAB) im Rahmen von Bewertungsverfahren für Erhaltungsmaßnahmen (Stufe 1): Entwicklung eines geeigneten methodischen Vorgehens. FE 01.168/20007/CGB, Entwurf zum Ergebnisbericht
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg und IVU (2010): Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten – Grundlage HBEFA 3.1 Leitfaden
- LEMKE, K. (2003): Anhang C: „q-v-Beziehungen“ zum Pflichtenheft „Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB für Zwecke des fließenden Verkehrs“ zum FE 02.216/2001/FRB (unveröffentlicht)
- LEUTZBACH, W., MAIER, W. (1986): Untersuchung des verkehrswirtschaftlichen Nutzens einer Baustelle mit Richtungswechselbetrieb (Schiersteiner Brücke), Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 495
- LISTL, G., DEMPE, J., SINGER, T. (2012): Erstellung eines Projektplans Straßenverkehrstelematik 2009 für den Zeitraum 2009 bis 2015 sowie einer veröffentlichungsreifen und downloadfähigen Fassung des neuen „Muster-RE-Entwurfs für Verkehrsbeeinflussungsanlagen“, Endbericht zu FE 25.0013/2009
- NAGL P., KUMMER, S., DEWEIS, N., SCHWIETERING, Chr. (2008): Ökonomische Aspekte von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) am Beispiel der VBA Tirol der ASFINAG. In: Straßenverkehrstechnik 3, 2008
- PISCHNER, T., HANGLEITER, S., LAMBACHER, U., TRUPAT, S., KÜHNE, R., SCHICK, P. (2003): Ermittlung und Bewertung von Nutzenkomponenten von Streckenbeeinflussungsanlagen im Hinblick auf den Verkehrsablauf. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 866
- POMMERENUNG, D., STADLER A., FREITAG, N. (2008): Untersuchung zu wirtschaftlichen Erhaltungsstrategien im Rahmen der Nutzungsdauer von Bauwerken, FE 15.398/2004/HRB
- PÖPPEL-DECKER, M., SCHEPERS, A., KOSSMANN, I. (2003): Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Mensch und Sicherheit, Heft M 153, Bergisch Gladbach
- SCHICK, P. (2003): Einfluss von Streckenbeeinflussungsanlagen auf die Kapazität von Autobahnabschnitten sowie die Stabilität des Verkehrsflusses. Stuttgart: Lehrstuhl für Verkehrsplanung

und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart  
(Dissertation)

SIEGENER, W., TRÄGER K., MARTIN, K., BECK, T. (2000): Unfallgeschehen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbelastung. Bonn: Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 787

SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH (2002): AVP (Programm zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung von Standstreifen an BAB), Ergebnis zu FE 02.216/2001/FRB

Strompreis in Deutschland, Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Strompreis>

WALTHER, Chr., KINDL, A., PAUFLER, D., WAßMUTH, V. (2006): Simulation von Wirkungen ausgewählter Maßnahmen zur Kapazitätserhöhung einzelner Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen bei einer vorgegebenen Straßeninfrastruktur. FE 26.0180/2005

PAUFLER-MANN, D., STADLER, A., WALTHER, Chr., WAßMUTH, V. (2007): Informationen über Alternativrouten als Grundlage für objektbezogene Bewertungsverfahren im BMS. FE 15.04 11/2005/HRB 2006

ZACKOR, H. (2001): Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen. Bonn: FE 03.313/1998/IGB, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 808

Zentrum für Logistik und Verkehrsplanung, SEP MAERSCHALK (2004): Entwicklung eines BVWP/EWS-kompatiblen Bewertungsbausteins für Erhaltungsinvestitionen der Straßeninfrastruktur und dessen bedarfsgerechte Begleitung im Feldversuch nach Integration des Bewertungsbausteins in die Software „VIAPMS“ der VIA-GROUP. Winterthur: Kurzfassung, Kurzbericht, Abschlussbericht 2004, FE 23.0005/1998 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb  
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen  
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl  
Lank, Steinauer, Busen € 29,50  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008  
Fitschen, Nordmann € 27,00  
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme  
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen  
Klöckner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement  
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Londong, Meyer € 29,50

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung  
Bark, Kutschera, Baier, Klemp-Kohnen € 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008  
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006  
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007  
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen  
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen  
Vieten, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

## 2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung  
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit  
Dohmen, Vieten, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung  
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009  
Fitschen, Nordmann € 27,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN  
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen  
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten  
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009  
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

## 2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)  
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete  
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meisteregehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB  
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren  
Schmellekamp, Tegethof  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter  
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)  
Lippold, Weise, Jähig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen  
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzölösungen  
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter  
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

## 2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie  
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

- V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen  
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50
- V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS  
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50
- V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010  
Fitschen, Nordmann € 16,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2  
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00
- V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken  
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst  
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50
- V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen  
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00
- V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr  
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00
- V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr  
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50
- V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Mess-Systemen  
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50
- V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen  
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50
- V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme  
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50
- V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse  
Lensing € 16,00
- V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik  
Lensing € 17,50
- V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen  
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00
- V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen  
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50
- V 241: Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme  
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50
- V 242: Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenindikatoren an Überquerungsstellen  
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00
- V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus  
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50

## 2014

- V 235: Dynamische Messung der Nachsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe  
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00
- V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.
- V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung im Rahmen der KP II – Maßnahmen  
Bund-Länder Arbeitskreis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.
- V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
28195 Bremen  
Tel. (0421) 3 69 03-53  
Fax (0421) 3 69 03-48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.