

Erweiterung der Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse von Netzbeeinflussungsanlagen

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

Erweiterung der Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse von Netzbeeinflussungsanlagen

Projektnummer

FE 03.0584/2019

Marcus Gerstenberger

Stephan Klementz

Gerhard Listl

gevas humberg & partner

Ingenieurgesellschaft für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik mbH

München

Matthias Kölle

SSP Consult Beratende Ingenieure GmbH

München

Matthias Spangler

Barbara Metzger

Lehrstuhl für Verkehrstechnik

Technische Universität München

Fachbetreuung

Jessica Hegewald

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen

Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach

November 2023

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 Kommunikation.

Kurzfassung

Erweiterung der Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse von Netzbeeinflussungsanlagen

Mit Hilfe von Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) soll der Verkehr vor allem bei Störungen im Verkehrsablauf entsprechend den jeweils vorhandenen Verkehrsbelastungen und Fahrtzeiten optimal im Straßennetz abgewickelt werden. Die derzeit zur Ermittlung der Wirksamkeit von NBA verwendeten Verfahren gemäß der „Hinweise zur Wirksamkeitschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ (FGSV-Heft 311) berechnen die Wirkungen bezüglich des Verkehrsflusses anhand der Zeitkosten. Die in die Verfahren eingehenden Kenngrößen sind allerdings empirisch schwer zu bestimmen und beruhen insbesondere für den Befolgungsgrad und für die Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute auf nicht einwandfrei verifizierten Annahmen. Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, ein Wirksamkeitsanalyseverfahren zu erarbeiten, welches transparenter und praxistauglicher einen Nachweis der verkehrlichen Wirkung von NBA unterstützt.

Basierend auf einer Literaturanalyse zu Vorgehensweisen bei Wirksamkeitsanalysen von NBA und NBA-Steuerungsstrategien sowie auf Expertengesprächen mit Vertretern der Straßenbauverwaltung wurden relevante Wirkungskomponenten ausgewählt und deren tatsächliche Berechnungsmöglichkeit bewertet.

Ausgehend von den so gewonnenen Erkenntnissen wurden für NBA die Anwendungsfälle Störungsinformation (Anwendungsfall S) und Alternativroutenempfehlung (Anwendungsfall A) in einem neuen Analyseverfahren für Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen etabliert. Zur Beurteilung der Relevanz von Störungen und der Einschätzung von Fahrtzeiten im ungestörten und gestörten Zustand, Verlustzeiten durch die Störung und resultierender Zeitvorteile werden Informationen aus Floating Car Data (FCD) verwendet. Die Weitergabe der Störungsinformation am Entscheidungspunkt (Anwendungsfall S) hat, ob mit oder ohne ergänzende Ausweisung einer Alternativroute, auch Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden. Die Anzahl der über die Störung informierten Verkehrsteilnehmenden wird für den Anwendungsfall S zur Beurteilung der Wirksamkeit einer NBA herangezogen. Wird ergänzend zu der reinen Störungsinformation auch eine Alternativroutenempfehlung ausgewiesen, wird zusätzlich der Anwendungsfall A für den relevanten Zeitbereich betrachtet. Dem Verfahren im Anwendungsfall A liegt die Annahme zugrunde, dass aus einer Alternativroutenempfehlung für die

der Empfehlung folgenden Verkehrsteilnehmenden Zeitvorteile gegenüber der Fahrt auf der Normalroute im gestörten Zustand resultieren. Die Summe dieser Zeitvorteile über alle relevanten Verkehrsteilnehmenden wird für Anwendungsfall A zur Beurteilung der verkehrlichen Wirksamkeit einer NBA herangezogen. Hierfür wird zunächst die Charakteristik des zugrundeliegenden Netzes aus Normalroute und Alternativroute analysiert. Aus dieser Analyse lassen sich Hinweise auf die tatsächliche Relevanz möglicher Störungen auf der Normalroute für die Anwendungsfälle S und A ableiten. Es wird weiterhin zwischen dem Verkehrsaufkommen der Einfahrenden unterschieden, die in die Normalroute einfahren, und dem Verkehrsaufkommen der Durchfahrenden, die die gesamte Normalroute üblicherweise (im ungestörten Zustand) bis zum Endpunkt durchfahren. Weiterhin werden Informationen zu den Ausfahrenden auf die Alternativroute erforderlich. Daneben werden Daten zu Störungen und bei Ex-Post-Untersuchungen ergänzend zu Schaltungen in den NBA nötig. Auf der Alternativroute muss das Netzelement lokalisiert werden, welches die geringste Kapazität besitzt. Mit dem entwickelten Wirksamkeitsanalyseverfahren kann die verkehrliche Wirksamkeit einer NBA dargestellt werden. In Anwendungsfall A werden die Zeitvorteile für die tatsächlich beeinflussten Verkehrsteilnehmenden (Pkw und Lkw) ausgewiesen. Der Nutzen der NBA kann auf der Basis von Zeitvorteilen unter Verwendung von Zeitkostensätzen ermittelt werden.

Neben den Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse wird ein methodischer Ansatz zur Strategiedefinition für Netzbeeinflussungsanlagen erarbeitet, der auf den identischen Prinzipien der Störungsbeurteilung aufbaut.

Im Rahmen einer beispielhaften Praxisanwendung wurde zur Überprüfung der Praxistauglichkeit dargestellt, dass die im Verfahren beschriebenen Bearbeitungsschritte und notwendigen Daten geeignet sind.

Abschließend werden Empfehlungen für die Integration des Verfahrens in die FGSV-Regelwerke formuliert. Zudem werden Hinweise zur Verbesserung eines Zugangs zu den für die Verfahrensanwendung notwendigen Daten durch standardisierte Datenformate und eine kontinuierliche Datenhaltung, zur Vereinfachung der Verfahrensanwendung durch eine Umsetzung in einem Softwaretool und zur Bereitstellung der aus Verfahrensanwendungen gewonnenen Erkenntnisse in einer Wissensbasis gegeben.

Abstract

Extended Procedures for Analysing the Effectiveness of Network Management Systems

Network management systems (German: Netzbeeinflussungsanlagen - NBA) are one possibility to manage traffic in the road network optimally in accordance with the existing traffic loads and travel times, especially in the event of disturbances in the traffic flow. The methods currently used for impact assessment of NBA based on the guideline "Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen" (FGSV Issue 311) calculate the effects on traffic flow using time costs. However, the parameters included in the procedures are empirically difficult to determine and are based on assumptions, especially for the compliance rate and for the travel times on normal and alternative routes. The aim of the research project was to develop an assessment analysis method that supports proof of the traffic effect of NBA in a more transparent and practical way.

Based on a literature review of procedures for assessment analysis and control strategies of NBA as well as expert interviews with representatives of the road administration, relevant impact components were identified and their actual options for calculation evaluated.

The use cases "traffic disturbance information" (use case S) and "alternative route recommendation" (use case A) for NBA were established in a new analysis method for ex-ante and ex-post investigations because of these findings. Information from Floating Car Data (FCD) is used to assess the relevance of disturbances and the estimation of travel times in undisturbed and disturbed situations, time losses due to the disturbances and resulting time advantages. The transmission of the traffic disturbance information at the decision point (use case S), whether with or without additional recommendation of an alternative route, also has an influence on the behavior of road users. For use case S the number of road users informed about the disturbance is used to assess the effectiveness of an NBA. If, in addition to the traffic disturbance information, an alternative route recommendation is shown, the use case A for the relevant time range is also considered.

The procedure in use case A assumes that a recommendation of an alternative route results in time advantages for the road users following the recommendation compared to continuing the drive on the normal route with the disturbance. To assess the traffic impact of NBA for use case A, the sum of

these time advantages for all relevant road users in passenger car and truck traffic is used. For this purpose, the characteristics of the network of normal route and alternative route are analysed. From this analysis, indications of the relevance of disturbances on the normal route for use cases S and A can be derived. A further distinction is made between the traffic volume of road users entering the normal route and the traffic volume of those passing through the entire normal route to the end point (usually in an undisturbed situation). Furthermore, information about the number of road users who are switching to the alternative route is required. Additionally, data on disturbances and in the case of ex-post investigations also data on display contents of the NBA are needed as input data. On the alternative route, the network element that has the lowest capacity must be located. With the analysis method, the traffic effects of an NBA can be calculated. In use case A, the time advantages for the influenced road users (passenger cars and trucks) are shown. The benefits of the NBA can be determined based on time advantages using time cost rates.

In addition to the procedures for effectiveness analysis, a methodological approach to the strategy definition for NBA is developed, which is based on the same principles as the assessment of traffic disturbances.

In the context of an exemplary practical application, it was shown that the processing steps described in the procedure and the necessary data are suitable and the method is usable for an impact assessment of NBA.

Finally, recommendations are formulated for the integration of the project results into the FGSV guidelines. In addition, information is given on how to improve the application of the method. Necessary data should be available in standardized data formats and in a continuous data storage. To simplify the application, a software tool should be implemented and the knowledge gained from process applications should be collected in a knowledge repository.

Summary

Extended Procedures for Analysing the Effectiveness of Network Management Systems

1 Background and objectives

Network management systems (German: Netzbeeinflussungsanlagen - NBA) are used in operational traffic management to make more efficient use of existing capacities in the network of German motorways. For this purpose, in the event of disturbances on a defined normal route, the incoming traffic is directed to an alternative route. If there are travel time advantages via this alternative route, a recommendation of the alternative route is usually made. Existing residual capacities are only included in the consideration when control strategies are implemented in existing network management systems. With established displays for network management that are based on LED-technology (so-called dWiSta panel), road users are also provided with traffic disturbance information on the normal route (both as single information and combined with an alternative route recommendation) as a basis for decision-making for their route choice behavior.

The procedures currently used to determine the effectiveness of NBA in accordance with specifications defined in the "Guidelines on estimating the effectiveness and calculating the effectiveness of traffic management systems" (Issue 311 of the Road and Transportation Research Association - FGSV) calculate the effects on traffic flow based on time costs. The benefit is determined by considering travel time gains and vehicle operating costs when redirecting the traffic volume to an alternative route. There is an ex-ante method for efficacy assessment as a basis for the economic calculation as well as ex-post methods for proof of efficacy after the commissioning of an NBA. However, the parameters included in the procedures are empirically difficult to determine and are based on assumptions that have not been verified, especially for the compliance rate and for the travel times on normal and alternative routes.

The aim of the research project is to develop an assessment analysis method that supports a more transparent and practicable proof of the traffic effects of NBA, both in ex-ante considerations (in the sense of an efficacy assessment) and in ex-post considerations (in the sense of an efficacy calculation). The basic procedure in the process should also consider the relationships in the development and implementation of control strategies.

2 Methodology

For this purpose, a literature analysis was conducted, which focused on the previous procedures for effectiveness analyses of NBA according to regulations and by means of alternative approaches. The control strategies that can be used in NBA were also analyzed. The aim of this analysis was to locate relevant fundamentals for a newly developed analysis method. In addition, expert discussions were held with representatives of the road construction administrations of the federal states (at the time of implementation) responsible for planning and operation. From a practical perspective, further valuable insights could be gained on the topics of developing strategies and estimating or calculating effectiveness. On this basis, it was possible to select relevant effect components and to evaluate their actual calculation options.

3 Process development

Based on these findings, a new analysis method for impact assessment of network traffic management systems with the use cases traffic disturbance information (use case S) and alternative route recommendation (use case A) is established. In this procedure, the estimation of the foreseeable effects of use case A by determining changes in the time impact of road users is the focus of attention. For use case S, the number of affected road users is estimated to describe the level of information.

When applying the method, the characteristics of the underlying network of normal route and alternative route must first be analyzed. From this analysis, indications of the actual relevance of possible disturbances on the normal route for the display of traffic disturbance information and for the designation of an alternative route recommendation can be derived. Based on the location of the decision point and the normal route, the end point for an alternative route recommendation in the motorway network is defined and the length of the normal route and the alternative route can be determined. Essential input variables for the procedure result from the traffic parameters available to the road construction administrations. A distinction is made between the traffic volume of vehicles entering the normal route downstream of the decision point and the traffic volume of vehicles, who usually take the entire normal route (in an undisturbed traffic) to the end point. Furthermore, information about the vehicles switching to the alternative route downstream of the decision point is required. The data must be differentiated between passenger cars and trucks. To be able to

define a minimum value for a disturbance-related time loss, the travel times for passenger cars and trucks on the normal or alternative route are considered. If no information on travel times on normal and alternative routes in an undisturbed state is available from the existing data collection, these can also be obtained from routable network data during times where there is no influence of disturbances.

On alternative routes, the network element with the lowest capacity must be located. This element supposedly also has the lowest remaining capacity for the alternative route recommendation. Ideally, this network element (e.g. ramp lane within a motorway junction) is equipped with traffic data detection. Usually in ex-post investigations this traffic data is available because it is constantly required to support the control strategies during operation. If this is not the case, i.e. in particular in the context of ex-ante investigations, a local traffic acquisition must be carried out over a period of at least four weeks to obtain a sufficient data base in periods without disturbance.

3.1 Traffic disturbance information

Presenting traffic disturbance information at the decision point (use case S), whether with or without an additional recommendation of an alternative route, also has an influence on the behavior of road users. The number of road users informed about the disturbance is used for use case S to assess the effectiveness of an NBA. If, in addition to the traffic disturbance information, an alternative route recommendation is also shown, the use case A for the relevant time range is also considered. The individual disturbances on the normal route are recorded and evaluated over a continuous period of two years in both ex-ante and ex-post investigations. For this purpose, Floating Car Data (FCD) are used, from which the description of the disturbance in the form of the resulting time loss follows. The minimum duration for considerable traffic disturbances is 15 minutes, since in practice the NBA reacts by distributing traffic disturbance information only from this period. The minimum time loss of a relevant traffic disturbance in use case S is defined as 1 minute. The incoming vehicles (passenger cars or trucks) of the normal route in the undisturbed traffic situation represent the potential of influence for use case S. For the time intervals, disturbances are determined. The corresponding values of the affected traffic volumes are derived from the data at the same time of the same day of the week without disturbances. In Ex-ante investigations of use case S, the influenceable road users correspond to the influenced road users. For ex-post analyses, a suitable local data

detection section is necessary as input to include the number of vehicles who additionally switch to the alternative route downstream of the decision point. It is considered that these road users are informed about the traffic disturbance at the site of information and change their route choice if necessary. For this purpose, these road users (passenger cars and trucks) are used for the scenario "without (a disturbance on normal and alternative routes)". Additionally, the road users are determined from the stationary local data detection who switched to the alternative route at the time of the disturbance for the scenario "with (a disturbance on the normal route)". The difference between the results for the "with"- and the "without"-case, represents the change in the number of exits who additionally switch to the alternative route at the decision point. This results in the road users influenced by use case S and those for ex-post investigations.

3.2 Recommendation of an alternative route

The procedure in use case A assumes that a recommendation of an alternative route results in time advantages for the road users following the recommendation compared to the scenario "continuing the trip on the normal route with the disturbance". The sum of these time advantages for all relevant road users in car and truck traffic is used for use case A to assess the traffic impact of the NBA. The individual disturbances on the normal route are recorded and evaluated over a continuous period of two years in both ex-ante and ex-post investigations in the same way for use case A. For this purpose, FCD are used to assess the disturbances and determine a significant time loss in vehicle traffic. The minimum duration of a disturbance is also set to 15 minutes, since in practice a recommendation of an alternative route is made only from this period as a result from a disturbance. For use case A, only disturbances on the normal route exceeding a minimum time loss of 10 minutes are considered.

Vehicles entering and passing through the complete normal route in the undisturbed traffic situation for each time interval of each weekday are used as input data. The ratio between the number of vehicles entering and passing through the normal route results in the potential of influence for use case A. For each disturbance, the corresponding values of the affected road users (passenger cars and trucks) can be determined from the potential of influence of the corresponding weekday. The network element limiting the capacity on the alternative route must be analyzed. The relevant network element is defined by

the design element in junctions or on sections with the lowest infrastructural capacity.

For this network element, in the time intervals with an alternative route recommendation, the traffic volume for passenger cars and trucks in an undisturbed traffic situation on normal and alternative routes is evaluated on a weekday-by-week basis. Considering the capacity of this network element, the remaining capacity of the alternative route (as a critical value in the capacity bottleneck) can also be determined, whereas a quasi-static traffic flow is assumed. For this purpose, either the procedure applicable to the relevant design element in accordance with the Manual for the Design of Road Traffic Facilities (HBS) [FGSV 2015] or the experience of the responsible road administration is used.

Subsequently, for ex-ante investigations, the influenceable road users in car or truck traffic during the period of the disturbance are determined, using the traffic volume of road users entering the normal route in the undisturbed situation. For ex-post investigations, the road users who change their behavior downstream of the decision point due to the display of the alternative route recommendation at the information site and switch to the alternative route are used as a further input. For this purpose, road users (passenger cars and trucks) using the alternative route in time intervals comparable to the disturbance periods in which there is neither a disturbance on the normal nor on the alternative route are used for the scenario "without (a disturbance on normal and alternative routes)". Furthermore, the road users (passenger cars and trucks) who have switched to the alternative route at the time intervals of the disturbance on the normal route are determined from the stationary local data detection for the scenario "with (a disturbance on the normal route)". By distinguishing between the results of the "with" and the "without"-case, the change in the number of road users who additionally switch to the alternative route can be determined and results in the number of road users influenced by use case A for ex-post investigations.

The achievable time advantage compared to the journey on the disturbed normal route is assigned for each car or truck that would follow the alternative route recommendation as a result of the previous procedural steps in the period of the disturbance. The minimum time advantage for recommending an alternative route for passenger cars is set at more than 10 minutes. Fulfilling this condition, the sum of the time advantage is determined for all passenger cars and trucks for which the alternative route is attractive (ex-ante) or which have switched to the alternative route (ex-post). The remaining capacity at

the bottleneck is compared with the additional traffic volume generated by the alternative route recommendation in this network element.

If the additional traffic volume can still be handled efficiently, this does not limit the alternative route recommendation. If the remaining capacity is exceeded, the designation of the alternative route is waived, so that no improvement can be made during these periods by showing an alternative route and shifting traffic volumes to the alternative route. In the same way, if a traffic disturbance exists on the alternative route, an alternative route recommendation will not be activated. At this point, the procedure for ex-ante and ex-post investigations does not differ. In the case of ex-post investigations, this process step would also be used to check whether the remaining capacity has been exceeded or not.

3.3 Control strategies

In addition to the procedures for effectiveness analysis, a methodological approach for the strategy definition for NBA is developed, which is based on the same principles as the assessment of traffic disturbances. As a starting point of the strategy definition, areas of influence are defined based on the decision points in the motorway network. Considering the existing static signposting, relevant long-distance destinations for the alternative route recommendation are specified. Using the information on the location (affected sections) and the extent (time loss in the congestion or congestion length) of the disturbances, trigger criteria are described, which are used to show traffic disturbance information (use case S) or an alternative route recommendation (use case A). In addition, criteria are described that can be used in the prioritization of traffic disturbances if there are several disturbances in the relevant area of influence at the same time or if several alternative routes are available. For network areas with several NBA, instructions are given on how to proceed with the overlapping of control strategies (simultaneous use of road sections for different alternative routes).

4 Results and findings

With the developed efficacy analysis method, the traffic effects of NBA can be described. In the procedure, a single network mesh is analyzed based on the location of a dWiSta panel. Only those traffic participants are included in the procedure who can be assigned to this dWiSta panel when using the normal route of the network mesh. The data basis used has a uniform structure and is quantifiable and

comprehensible. The method can be used in ex-ante (to assess efficacy) and in ex-post investigations (to determine efficacy). The results of the efficacy analysis are differentiated for passenger cars and trucks.

In use case S, the road users influenced (i.e. informed) by the display of traffic disturbance information are indicated. In use case A, the time advantages are calculated for the influenceable road users in ex-ante-investigations and the actually influenced road users in ex-post-investigations (in each case differentiated in passenger cars and trucks).

In use case A, the change in the time taken by road users affected by a traffic disturbance on the normal route is used as the key parameter for assessing the efficacy of an NBA. The benefits of the NBA can be determined based on time advantages using time cost rates. For this purpose, existing cost rates are used to determine economic costs due to time losses in traffic. For use case S, cost rates for an informed road user are missing, so that a benefit cannot be shown at present.

In the context of an exemplary practical application, it was shown whether the processing steps and necessary data described in the procedure are suitable and what effort is required to achieve results.

To check the usability of the described procedures for the development of control strategies in network management as well as for the assessment analysis of NBA, data of traffic disturbances and traffic data were used as input data for a study area in the motorway network of North Rhine-Westphalia. With the practical application, the usability of the strategy planning procedure could be demonstrated based on a study period of one month and for the assessment analysis procedure based on data of one week for the consideration of individual network meshes within the study area.

5 Recommendations

The approach developed in the research project considers the development of control strategies, the operational implementation and the impact assessment of NBA. It should be integrated in the corresponding FGSV guidelines. The procedure should be considered in the currently developed specification paper of the FGSV working group 3.2.11 "Traffic and organizational requirements for network management systems".

For a barrier-free transfer of input data into the procedure, the goal should be a standardized data preparation for FCD in compliance with the procedural requirements. A corresponding exchange with the FCD suppliers should be initiated here. The stocks of traffic, disturbance and circuit data should be collected continuously and kept permanently available in a nationwide uniform data storage system and with high quality and availability. An implementation in a software tool with the goal of automation and the direct transfer of necessary input data for a wider use of the procedure is recommended. For the project-specific results from the process applications, a central knowledge repository should be established to create the basis for further adaptation and supplementation of the process.

To maximize the influence on road users, it is necessary to ensure that the information disseminated through collective and individual information channels is consistent. To integrate the effects of use case S into the calculation of the benefit-cost ratio, a cost rate for an informed road user must be defined or determined. The results of the traffic effects in use case A can also be used to determine further impact components (changes in noise emissions, pollutant emissions and fuel consumption). However, this requires further input variables.

Inhalt

Abkürzungen	9	5.2.1 Umfassendes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse	71
Glossar	10	5.2.2 Vereinfachtes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse	75
Formeln	13	5.2.3 Zeitkostensätze zur Ermittlung des Nutzens	79
1 Einführung	17	5.3 Darstellung der Verfahrensschritte des umfassenden Wirksamkeitsanalyseverfahrens	80
1.1 Problemstellung	17	5.3.1 Ermittlung von Grunddaten	80
1.2 Zielsetzung und Adressaten	18	5.3.2 Anwendungsfall S (Weitergabe von Störungsinformationen)	82
2 Bestandsaufnahme Netzbeeinflussung in Deutschland	21	5.3.3 Anwendungsfall A (Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung)	85
2.1 Literaturanalyse – Überblick zum Stand des Wissens	21	5.4 Darstellung der Verfahrensschritte des vereinfachten Wirksamkeitsanalyseverfahrens	90
2.1.1 Begriffsbestimmungen	21	5.4.1 Ermittlung von Grunddaten	90
2.1.2 Aspekte bei der Anwendung von NBA	25	5.4.2 Anwendungsfall S (Weitergabe von Störungsinformationen)	92
2.1.3 Vorgehensweisen zur Wirksamkeitsanalyse von NBA	31	5.4.3 Anwendungsfall A (Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung)	94
2.1.4 Erkenntnisse aus der Anwendung und Erfahrungswerte aus der Praxis	35	5.5 Abgrenzung des Einsatzbereich des Wirksamkeitsanalyseverfahrens	96
2.2 Netzbeeinflussung in der Praxis	37	6 Steuerungsstrategien in der Netzbeeinflussung	98
2.2.1 Grundlagen für den Einsatz der Netzbeeinflussung	38	6.1 Grundüberlegungen zur Definition von Netzbeeinflussungsstrategien	98
2.2.2 Strategieentwicklung und Wirksamkeitsanalysen	41	6.2 Methodischer Ansatz zur Strategiedefinition	100
2.3 Kritische Würdigung von Literatur und Praxisschau	44	6.2.1 Strategie zur Anzeige von Störungsinformationen	103
2.4 Konkretisierung des Überarbeitungsbedarfs des Vorgehens nach FGSV-Heft 311	49	6.2.2 Strategie zur Anzeige von Alternativroutenempfehlungen	104
3 Charakterisierung von Anwendungsfällen der Netzbeeinflussung	51	6.2.3 Überlagerung mehrerer Strategien	106
3.1 Angebotsseitige Betrachtung	51	7 Exemplarische Anwendung der Steuerungs- und Wirksamkeitsanalyseverfahren	108
3.1.1 Infrastrukturbezogene Kriterien	51	7.1 Untersuchungsgebiet und vorliegende Daten	108
3.1.2 Anwendungsbezogene Kriterien	52	7.1.1 Netzmaschen und Streckencharakteristik	108
3.2 Nachfrageseitige Betrachtung	53	7.1.2 Verkehrs-, Störungs- und Schaltungsdaten	111
4 Bausteine für ein angepasstes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse	56	7.1.3 Störungscharakteristik im Untersuchungszeitraum	114
4.1 Vorschlag zur Vorgehensweise zur Netzmaschendefinition	56	7.2 Praxisanwendung Strategieplanungsvorgehen	118
4.2 Überblick möglicher Wirkungskomponenten	60	7.3 Praxisanwendung Wirksamkeitsanalyseverfahren	122
4.2.1 Verkehrsbeeinflussung durch den Maßnahmenteil „Lenkung“	62		
4.2.2 Verkehrsbeeinflussung durch den Maßnahmenteil „Information“	62		
4.2.3 Mögliche Wirkungskomponenten	63		
5 Wirksamkeitsanalyseverfahren	65		
5.1 Herleitung notwendiger Grundlagen	65		
5.2 Überblick zur Verfahrensentwicklung	69		

7.3.1	Parameterzusammenfassung für Anwendungsfall S	123
7.3.2	Parameterzusammenfassung für Anwendungsfall A	124
7.3.3	Testanwendung	125
7.3.4	Erkenntnisse aus der exemplarischen Praxisanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens	135
8	Ableitung von Hinweisen und Empfehlungen	137
9	Zusammenfassung	141
	Literatur	147
	Tabellen	151
	Bilder	152

Abkürzungen

AD	Autobahndreieck	LDC	Long Distance Corridor
AK	Autobahnkreuz	LED	light-emitting diode
AID	Arbeitsstelle längerer Dauer	LoS	Level of Service
ANPR	automatic number plate recognition (Kennzeichenwiedererkennung)	MQ	Messquerschnitt
AS	Anschlussstelle	NBA	Netzbeeinflussungsanlage
ASDA/Foto	Automatische Staudynamikanalyse / Forecasting of traffic objects	NEMOBFStr	Netzmodell für die Bundesfernstra- ßenplanung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (zuvor BMVI)	NIKOS	Netz- und Verkehrsmodell zur inter- vallmäßigen Kontrolle und Optimie- rung von Staubildungen)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (jetzt BMDV)	NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
CBM	Cross Border Management	RDS-TMC	Radio Data System – Traffic Message Channel
DIVA	Dynamische Intelligente Verkehrsana- lyse	SBA	Streckenbeeinflussungsanlage
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr	TERN	Trans European Road Network
dWiSta	dynamischer Wechselwegweiser mit integrierter Stauinformationen	TIC	Traffic Information Centre
ESN	Empfehlungen für die Sicherheitsana- lyse von Straßennetzen	TMC	Traffic Message Channel
EWS	Empfehlungen für Wirtschaftlichkeits- untersuchungen an Straßen	TPEG	Transport Protocol Experts Group
IVS	Intelligente Verkehrstelematische Sys- teme	TSF	Temporäre Seitenstreifenfreigabe
FCD	Floating Car Data	VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlage
KBA	Knotenpunktbeeinflussungsanlage	VZD	Verkehrszentrale Deutschland
		ZRA	Zuflussregelungsanlage

Glossar

Akzeptanz

Bereitschaft, einer Maßnahme zur Verkehrsbeeinflussung freiwillig und zustimmend zu folgen.

Der Begriff "Akzeptanz" ist nur in Bezug auf den einzelnen Verkehrsteilnehmenden eindeutig.

Alternativroute

Folge von Strecken, auf die für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung zwischen einem Entscheidungspunkt und einem Endpunkt, bei einer Störung auf der Normalroute im Rahmen einer Routenempfehlung verwiesen wird (angelehnt an [FGSV 2020])

Auslastungsgrad

Verhältnis der sich aus der Verkehrsnachfrage ergebenden Verkehrsstärke zur Kapazität [FGSV 2020]

Beeinflussungspotential

relativer Anteil von Fahrzeugen eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt, für den sich durch die Informationen zur Routenänderung (in einer NBA) Vorteile ergeben.

Beeinflussungsbereich

relevanter Teilbereich des Straßennetzes für die Anzeige von Störungsinformationen und Alternativroutenempfehlungen ausgehend von einem Informationsstandort

Befolgung

Handlung, bei dem ein Fahrzeugführer aufgrund der Verkehrsinformation sein Verhalten ändert und der in der Verkehrsinformation enthaltenen Empfehlung folgt.

Im Fall einer Wechselwegweisung liegt eine Befolgung somit dann vor, wenn ein Fahrzeug aufgrund einer Routeninformation seine Normalroute verlässt und die empfohlene Alternativroute wählt. Der Begriff „Befolgung“ ist damit nur in Bezug auf das einzelne Fahrzeug eindeutig. (angelehnt an [WERMUTH / WULF 2007])

Befolungsgrad

Relativer Anteil aller Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt, der bei Vorliegen einer Störung auf der Normalroute unabhängig von der Informationsquelle seine Routenwahl ändert.

Bruttowirkung

Nettowirkung zzgl. der Ergebnisindikatoren mit Ursache in anderen Maßnahmen und durch allgemeine Trends

Durchfahrende

Verkehrsteilnehmende, die die gesamte Normalroute üblicherweise (im ungestörten Zustand) ausgehend vom Entscheidungspunkt bis zum Endpunkt durchfahren

Durchgangsverkehrsanteil

Anteil der Verkehrsvorgänge durch ein festgelegtes Gebiet, deren Ziele und Quellen außerhalb dieses Gebiets liegen (angelehnt an [FGSV 2020])

Anteil der Fahrzeuge am Entscheidungspunkt der NBA, die die beeinflusste Netzmasche komplett durchfahren und diese nicht im Verlauf der Normalroute verlassen [WERMUTH / WULF 2007]

Einfahrende

Verkehrsteilnehmende, die am Entscheidungspunkt im ungestörten Zustand in die Netzmasche (beschrieben durch Normal- und Alternativroute) einfahren

Einflussbereich

Netzbereich, in dem Informationen an einem Entscheidungspunkt einer NBA, das Routenwahlverhalten und den Informiertheitsgrad der Verkehrsteilnehmenden verändern (vgl. auch Netzmasche).

Entscheidungspunkt

ein Ort stromaufwärts eines Knotenpunktes im betrachteten Streckennetz (d.h. Autobahnkreuz oder -dreieck), an dem Verkehrsteilnehmende eine Entscheidung bezüglich der weiteren Routenwahl zu einem spezifischen Fernziel treffen müssen.

Endpunkt (einer Normal- oder Alternativroute)

ein Ort stromabwärts eines Knotenpunktes im betrachteten Streckennetz (d.h. Autobahnkreuz oder -dreieck), an dem Normal- und Alternativroute zusammentreffen.

Ereignis

eine Situation, die auf der Straße eintritt, die aber nicht notwendigerweise einen negativen Einfluss auf die Sicherheit und/oder Kapazität des Straßennetzes hat [EASYWAY 2012 b]

Ergebnisindikator

Maßzahl für die Veränderung einer Kenngröße (oder der Kombination mehrerer Kenngrößen) gegenüber einem definierten Bezugszustand durch eine Netzbeeinflussungsmaßnahme

Fahrtzeit Zeitbedarf für die Durchführung einer Fahrt (des mit einem Verkehrsmittel zurückgelegten Abschnitts einer Reise) [FGSV 2020]	Netzmasche eine aus mehreren aufeinander folgenden Netzelementen bestehende, in sich geschlossene Folge von Strecken [FGSV 2020]
Hauptroute siehe Normalroute	für den Bereich der Netzbeeinflussung bedeutet dies: Eine Netzmasche ist definiert durch eine Kombination aus Normalroute und Alternativroute. Die Normalroute ist dabei bezogen auf ein Fernziel, das am Entscheidungspunkt in der statischen Wegweisung („Blaubeschilderung“) dem Streckenverlauf der Normalroute zugeordnet wird. Die Netzmasche endet am Endpunkt, ab dem sich die Routenführung beider Routen in Richtung des Fernziels wieder überlagern. Der Entscheidungspunkt als Beginn der Netzmasche liegt auf der Richtungsfahrbahn einer Autobahn im Zulauf auf einen Autobahnknotenpunkt, in dem auf die Alternativroute gewechselt werden muss. Die Netzmasche wird durch die zulaufende Richtungsfahrbahn bestimmt und ihr ist eine so definierte Gruppe von Verkehrsteilnehmenden zugeordnet. Der Endpunkt ist auf der ihm zugeordneten Richtungsfahrbahn positioniert, auf der Normal- und Alternativroute zum relevanten Fernziel wieder gemeinsam geführt werden.
Informationsstandort Position einer Anzeige im Straßennetz zur Weitergabe von verkehrsrelevanten Informationen an die Verkehrsteilnehmenden	
Informiertheitsgrad Relativer Anteil aller Fahrzeuge an einem Querschnitt, der die über die Komponenten der NBA visualisierten Informationen in seinen Entscheidungen zur Routenwahl berücksichtigen kann.	
Kontinuitätsregel Ein einmal in die Beschilderung aufgenommenes Ziel muss in der folgenden Wegweisung bis zum Erreichen des Ziels wiederholt werden. [FGSV 2001]	
Maßnahme abstrakt formulierte Handlungsanweisung als Folge einer oder mehrerer Situationen [MARZ 2018]	
Netto-Befolgungsgrad relativer Anteil von Fahrzeugen eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt, der einer Empfehlung aufgrund der Anzeige einer verkehrsrelevanten Information mit den Komponenten einer NBA befolgt. Auf ein einzelnes Fahrzeug bezogen ist der Netto-Befolgungsgrad der „Befolgungswahrscheinlichkeit“ gleichzusetzen [WERMUTH / WULF 2007] Anteil der von einer Routenempfehlung zur kollektiven Verkehrssteuerung angesprochenen Verkehrsteilnehmenden, der dieser Empfehlung folgt [GEIß et al. 1983]	Netzmaschengröße Streckenlänge der Normalroute in km
	Normalroute Folge von Strecken, die für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung zwischen einem Entscheidungspunkt und einem Endpunkt bevorzugt befahren wird und auf die üblicherweise auch in der wegweisenden Beschilderung verwiesen wird. (alternativ: Hauptroute; angelehnt an [FGSV 2020])
Nettowirkung Teil der Ergebnisindikatoren mit Ursache in der Auslösung einer Netzbeeinflussungsmaßnahme	Nutzen Maß für die Wertabschätzung von Wirkungen einer Maßnahme oder eines Zustands [FGSV 2020]
Netzabschnitt Autobahnabschnitt zwischen zwei Entscheidungspunkten (AK / AD) innerhalb des Autobahnnetzes	Nutzenkomponente Teilbereich des erzielten Nutzens einer Maßnahme bzw. eines Maßnahmenbündels
Netzbeeinflussungsanlage Verkehrsbeeinflussungsanlage zur Steuerung der Routenwahl in einem Netz durch Wechselverkehrszeichen [FGSV 2020]	Nutzeroptimum Verfolgung des Ziels der Minimierung der Kosten für jeden einzelnen Nutzer eines Systems; im Gleichgewichtszustand können entsprechend des 1. Wardrop'schen Prinzips Verkehrsteilnehmende ihre Fahrtzeit nicht verringern, indem ein Wechsel auf eine Alternativroute stattfindet.
	Restkapazität / Kapazitätsreserve Differenz zwischen der Kapazität einer Strecke und der sich aus der Verkehrsnachfrage ergebenden Verkehrsstärke [FGSV 2020]

<p>Störfall unerwartete und unvorhersehbare Situation auf der Straße, die die Sicherheit und/oder Kapazität des Straßennetzes für eine begrenzte Zeit beeinträchtigt [EASYWAY 2012 b]</p>	<p>Umwegfaktor – räumlich Quotient aus zurückgelegter Weglänge und Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel einer Reise [FGSV 2020] Für den Bereich der Netzbeeinflussung adaptiert bedeutet dies: Quotient aus der Weglänge der Alternativroute und der Weglänge der eigentlichen Normalroute zwischen Entscheidungspunkt und Endpunkt</p>
<p>Störung siehe Störfall</p>	<p>Umwegfaktor – zeitlich Quotient aus der Fahrzeit auf der Alternativroute und der Fahrzeit auf der eigentlichen Normalroute zwischen Entscheidungspunkt und Endpunkt für das Gesamtkollektiv aller Verkehrsteilnehmenden; ggf. bezogen auf einzelne Gruppen von Verkehrsteilnehmenden (Pkw oder Lkw)</p>
<p>Störungsart Charakterisierung einer Störung und deren Ursache hinsichtlich der Auslösung von Steuerungsstrategien</p>	<p>Verkehrsaufkommen Anzahl von Fahrzeugen in einem Fahrzeugstrom oder an einem Querschnitt innerhalb eines bestimmten Zeitraumes.</p>
<p>Störungstyp Charakterisierung einer Störung und deren Ursache hinsichtlich der Berücksichtigung in der Wirksamkeitsanalyse</p>	<p>Verlustzeit Differenz der Fahrzeiten auf einer Route mit vorhandener Störung und im ungestörten Zustand</p>
<p>Strategie ein vorab festgelegtes Handlungskonzept für das Ergreifen von Maßnahmen (-bündeln) zur Verbesserung einer definierten (Ausgangs-) Situation [FGSV 2003 b] Für den Bereich der Netzbeeinflussung bedeutet dies: die Reaktion auf eine oder mehrere Störfälle bzw. Ereignisse im Autobahnnetz mit Einfluss auf den Verkehrsablauf. Eine Strategie kann in diesem Zusammenhang entweder lediglich eine Information zu den aktuellen Störfällen bzw. Ereignissen sein oder zusätzlich auch eine Umleitungsempfehlung enthalten.</p>	<p>Wirksamkeit (nachgewiesener) positiver Effekt einer Maßnahme in einer Verkehrssituation gegenüber der Verkehrssituation ohne Maßnahme</p>
<p>Strategisches Netz zusammenhängende Abschnitte eines Straßennetzes, die von regional bedeutsamen Problemen betroffen sein können, eine hohe Leistungsfähigkeit aufweisen und die in die Verkehrsbeeinflussung/-information einbezogen werden können [FGSV 2011]</p>	<p>Wirksamkeitspotential maximal erreichbarer positiver Effekt einer Maßnahme in einer Verkehrssituation gegenüber der Verkehrssituation ohne Maßnahme</p>
<p>Streckenabschnitt Autobahnabschnitt zwischen zwei Anschlussstellen innerhalb eines Netzabschnittes oder zwischen Anschlussstelle und Autobahnkreuz / Autobahndreieck am Anfang bzw. Ende des Netzabschnittes</p>	<p>Wirkung Gesamtheit der Effekte einer Maßnahme gegenüber des Ausgangszustands. Diese kann positiv oder negativ sein.</p>
<p>Systemoptimum Verfolgung des Ziels der Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten eines Systems; im Gleichgewichtszustand sind entsprechend des 2. Wardrop'schen Prinzips die Kosten auf allen Routen gleich</p>	<p>Wirkungskomponente Teilbereich der erzielten Wirkung einer Maßnahme bzw. eines Maßnahmenbündels</p>

Formeln

Indizes:

a	30 min-Zeitintervall während einer Störung	STD	Störungsdauer
a^*	30 min-Zeitintervall des vergleichszeitraumes ohne Störung	STE	Lage Störungsende
A	Ausfahrende	STL	Störungslänge
AR	Alternativroute (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)	ST	Störung
d	Netzabschnitt	STA	Anfangszeitpunkt der Störung
D	Durchfahrende	STE	Endzeitpunkt der Störung
E	Einfahrende	T	Fahrtzeit
i	Netzmasche	t	Fahrtzeit (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
j	Störung	TVS	Verlustzeit
k	Alternativroute	U	Mindestverlustzeit
KE	Kapazitätsengpass	VM	Verkehrsmodell
L	Lkw	Z	Endpunkt
m	Normalroute	Formelzeichen:	
M	Mit-Fall	A_i	Entscheidungspunkt in Netzmasche i
NR	Normalroute (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)	$C_{Kfz}KE_{p,a^*}$	Kapazität für Engpass p im 30 min-Intervall a^* [Kfz/30 min]
O	Ohne-Fall	DTV_{W5}	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr an Werktagen Montag bis Freitag
p	Kapazitätsengpass	DTV_{W6}	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr an Werktagen Montag bis Samstag
P	Pkw	E_i	Endpunkt in Netzmasche i
Q	Verkehrsaufkommen	KE_p	Kapazitätsengpass p auf Alternativroute
QA	Verkehrsaufkommen relevant für Anwendungsfall A	$L_{i,k}$	Länge Alternativroute k in Netzmasche i [km]
QAM	Verkehrsaufkommen relevant für Anwendungsfall A (Mit-Fall)	$L_{i,m}$	Länge Normalroute m in Netzmasche i [km]
QAO	Verkehrsaufkommen relevant für Anwendungsfall A (Ohne-Fall)	l_{Stau}	Staulänge [km] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
QS	Verkehrsaufkommen relevant für Anwendungsfall S	$l_{Stau,d,min}$	Mindeststaulänge auf Netzabschnitt d zur Auslösung einer NBA-Maßnahme [km] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
QSM	Verkehrsaufkommen relevant für Anwendungsfall S (Mit-Fall)	$minSTD$	Minstdauer einer Störung [min]
QSO	Verkehrsaufkommen relevant für Anwendungsfall S (Ohne-Fall)	$minZVA_{Kfz,k}$	Mindestzeitvorteil Kfz auf Alternativroute k bei Störung j [min]
r	Streckenabschnitt		
S	Entscheidungspunkt		
SA	Streckenabschnitt		

$minTVST_1$	Mindestverlustzeit einer Störung zur Anzeige einer Störungsinformation [min]	$Q_P E_{m,a^*}$	Einfahrende Pkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a^* zum Vergleichszeitpunkt ohne Störung [Pkw/30 min]
$minTVST_2$	Mindestverlustzeit einer Störung zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung [min]	$Q_P DVM_m$	Durchfahrende Pkw Normalroute m aus Verkehrsmodell als DTV_{w6} [Pkw/24 h]
$minVT_k$	Mindestzeitvorteil der Alternativroute k gegenüber der gestörten Normalroute m zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung [min]	$Q_P EVM_m$	Einfahrende Pkw auf Normalroute m aus Verkehrsmodell als DTV_{w6} [Pkw/24 h]
$Q_L A_{S,a}$	Ausfahrende Lkw am Entscheidungspunkt S im 30 min-Intervall a [Lkw/30 min]	$Q_P KE_{p,a^*}$	Verkehrsaufkommen Pkw am Engpass p im 30 min-Intervall a^* [Pkw/30 min]
$Q_L D_{m,a}$	Durchfahrende Lkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a zum Störungszeitpunkt [Lkw/30 min]	$Q_{AKfz,j,a}$	Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Kfz für eine Alternativroutenempfehlung mit Störung j im 30 min-Intervall a [Kfz/30 min]
$Q_L D_{m,a^*}$	Durchfahrende Lkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a^* zum Vergleichszeitpunkt ohne Störung [Lkw/30 min]	$Q_{AL,j,a}$	Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw für eine Alternativroutenempfehlung im 30 min-Intervall a [Lkw/30 min]
$Q_L E_{m,a}$	Einfahrende Lkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a zum Störungszeitpunkt [Lkw/30 min]	$Q_{AP,j,a}$	Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw für eine Alternativroutenempfehlung im 30 min-Intervall a [Pkw/30 min]
$Q_L E_{m,a^*}$	Einfahrende Lkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a^* zum Vergleichszeitpunkt ohne Störung [Lkw/30 min]	$Q_{AM_L A_{S,j,a}}$	Ausfahrende Lkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a mit Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Alternativroutenempfehlung [Lkw/30 min]
$Q_L DVM_m$	Durchfahrende Lkw Normalroute m aus Verkehrsmodell als DTV_{w6} [Lkw/24 h]	$Q_{AM_P A_{S,j,a}}$	Ausfahrende Pkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a mit Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Alternativroutenempfehlung [Pkw/30 min]
$Q_L EVM_m$	Einfahrende Lkw auf Normalroute m aus Verkehrsmodell als DTV_{w6} [Lkw/24 h]	$Q_{AO_L A_{S,j,a^*}}$	Ausfahrende Lkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a^* (im vergleichbaren Zeitraum der Störung j) ohne Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Alternativroutenempfehlung [Lkw/30 min]
$Q_L KE_{p,a^*}$	Verkehrsaufkommen Lkw am Engpass p im 30 min-Intervall a^* [Lkw/30 min]	$Q_{AO_P A_{S,j,a^*}}$	Ausfahrende Pkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a^* (im vergleichbaren Zeitraum der Störung j) ohne Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Alternativroutenempfehlung [Pkw/30 min]
$Q_P A_{S,a}$	Ausfahrende Pkw am Entscheidungspunkt S im 30 min-Intervall a [Pkw/30 min]	$Q_{S_L,j,a}$	Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw für eine Störungsinformation im 30 min-Intervall a [Lkw/30 min]
$Q_P D_{m,a}$	Durchfahrende Pkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a zum Störungszeitpunkt [Pkw/30 min]		
$Q_P D_{m,a^*}$	Durchfahrende Pkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a^* zum Vergleichszeitpunkt ohne Störung [Pkw/30 min]		
$Q_P E_{m,a}$	Einfahrende Pkw auf Normalroute m im 30 min-Intervall a zum Störungszeitpunkt [Pkw/30 min]		

$QS_{P,j,a}$	Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw für eine Störungsinformation im 30 min-Intervall a [Pkw/30 min]	$t_{F NR}$	mittlere Fahrtzeit aller Fahrzeuge auf der Normalroute [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
$QSM_{L A_S,j,a}$	Ausfahrende Lkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a mit Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Störungsinformation [Lkw/30 min]	$t_{F NR,0}$	mittlere Fahrtzeit aller Fahrzeuge auf der Normalroute im freien Verkehr [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
$QSM_{P A_S,j,a}$	Ausfahrende Pkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a mit Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Störungsinformation [Pkw/30 min]	$T_{L,i,k,j,a}$	Fahrtzeit Lkw auf Alternativroute k im Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a [min]
$QSO_{L A_S,j,a^*}$	Ausfahrende Lkw in Richtung Alternativroute im 30 min- Intervall a^* (im vergleichbaren Zeitraum der Störung j) ohne Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Störungsinformation [Lkw/30 min]	T_{L,i,k,j,a^*}	ungestörte Fahrtzeit Lkw auf Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a^* [min]
$QSO_{P A_S,j,a^*}$	Ausfahrende Pkw in Richtung Alternativroute im 30 min-Intervall a^* (im vergleichbaren Zeitraum der Störung j) ohne Störung j auf Normalroute m zur Analyse einer Störungsinformation [Pkw/30 min]	$T_{L,i,m,j,a}$	Fahrtzeit Lkw auf Normalroute m mit Störung j im 30 min-Intervall a [min]
		T_{L,i,m,j,a^*}	ungestörte Fahrtzeit Lkw auf Normalroute m zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a [min]
$RC_{Kfz} KE_{p,a^*}$	Restkapazität auf Alternativroute im Engpass p im 30 min-Intervall a^* [Kfz/30 min]	T_{P,i,k,j,a^*}	ungestörte Fahrtzeit Pkw auf Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a^* [min]
$ST Art_j$	Störungsart der Störung j	$T_{P,i,k,j,a}$	Fahrtzeit Pkw auf Alternativroute k im Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a [min]
STD_j	Dauer der Störung j [min]	T_{P,i,m,j,a^*}	ungestörte Fahrtzeit Pkw auf Normalroute m zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a^* [min]
$STE_{j,a}$	Lage des stromaufwärtigen Endes der Störung j im 30 min-Intervall a	$T_{P,i,m,j,a}$	Fahrtzeit Pkw auf Normalroute m mit Störung j im 30 min-Intervall a [min]
$STL_{j,a}$	Länge der Störung j im 30 min-Intervall a [km]	$t_{S NR/AR}$	Schwellwert des Fahrtzeitvorteils zwischen Normal- und Alternativroute zur Auslösung einer NBA-Maßnahme [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
$STTA_j$	Anfangszeitpunkt der Störung j		
$STTE_j$	Endzeitpunkt der Störung j		
$t_{F,d}$	aktuelle mittlere Fahrtzeit aller Fahrzeuge auf Netzabschnitt d [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)	$t_{V,d}$	mittlere Verlustzeit aller Fahrzeuge auf Netzabschnitt d [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
$t_{F,0,d}$	übliche mittlere Fahrtzeit aller Fahrzeuge im freien Verkehr auf Netzabschnitt d [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)	$t_{V,d,min}(A)$	Mindestverlustzeit aller Fahrzeuge auf Netzabschnitt d zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)
$t_{F AR}$	mittlere Fahrtzeit aller Fahrzeuge auf der Alternativroute [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)		

$t_{V,d,min}(S)$	Mindestverlustzeit aller Fahrzeuge auf Netzabschnitt d zur Anzeige einer Störungsinformation [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)	$U_{P_{i,k,j,a}}$	Fahrtzeitdifferenz ungestört Pkw zwischen Normalroute m und Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a für Alternativroutenempfehlung [min]
$t_{V NR}$	mittlere Verlustzeit aller Fahrzeuge auf der Normalroute [min] (Verwendung im Abschnitt Steuerungsstrategie)	v	Anschlussstelle
$TVST_{Kfz,j,a}$	Verlustzeit in Störung j (Kfz) im 30 min-Intervall a [min]	$ZVA_{L,j,a}$	Zeitvorteil je Lkw auf Alternativroute k mit Störung j im 30 min-Intervall a [min/Lkw]
$U_{L_{i,k,j,a}}$	Fahrtzeitdifferenz ungestört Lkw zwischen Normalroute m und Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j im 30 min-Intervall a für Alternativroutenempfehlung [min]	$ZVA_{P,j,a}$	Zeitvorteil je Pkw auf Alternativroute k mit Störung j im 30 min-Intervall a [min/Pkw]

1 Einführung

In der Verkehrsbeeinflussung werden Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) zur effizienteren Nutzung vorhandener Kapazitäten im Streckennetz der Bundesfernstraßen eingesetzt. Dazu wird bei Störungen auf einer definierten Normalroute der dorthin zufließende Verkehr auf eine Alternativroute verwiesen. Die Umleitungsempfehlung erfolgt dabei in der Regel bei Fahrtzeitvorteilen der Alternativroute, während vorhandene Restkapazitäten der hier relevanten Netzelemente auf der Alternativroute und auch der Normalroute nur selten in die Betrachtung einfließen. Mit steigendem Verkehrsaufkommen und einem Anstieg von Arbeitsstellen kürzerer und längerer Dauer wird eine Verteilung des Verkehrsaufkommens auf dem bestehenden Streckennetz umso wichtiger. Das Potenzial von NBA erscheint deshalb bei der derzeitigen Nutzung nicht voll ausgeschöpft. Mit dem Einsatz über großräumige, komplexe Netzbereiche im Sinne eines Netzmanagements kann ein weiterer Beitrag zu einer besseren Verteilung des Verkehrsaufkommens auf dem vorhandenen Streckennetz erreicht werden. Die zur Wirksamkeit von NBA derzeit verwendeten Verfahren ermitteln die Wirkungen bezüglich des Verkehrsflusses anhand der Zeitkosten. Berücksichtigt werden u.a. die Häufigkeit von Störfällen, Restkapazitäten sowie der Befolgungsgrad. Der Nutzen wird anhand von Fahrtzeitgewinnen und Fahrzeugbetriebskosten bei Umleitung des Verkehrsaufkommens auf eine Alternativroute um eine singuläre Störung ermittelt. Es existiert ein ex ante-Verfahren zur Wirksamkeitseinschätzung als Grundlage für die Baugenehmigung sowie ein ex post-Verfahren zur Wirksamkeitsberechnung nach der Inbetriebnahme einer NBA. Die in die Verfahren eingehenden Größen sind dabei empirisch schwer zu bestimmen. Für komplexere Streckennetze mit mehreren Alternativrouten und mehreren parallel vorliegenden Störungen sind die Verfahren nicht ausgelegt. Ebenso existieren derzeit noch keine Verfahren zur Ableitung von Gesamtstrategien für komplexe strategische Netze sowie zur Bestimmung der Auswirkungen und der Wechselwirkungen bei der Umsetzung solcher Strategien.

1.1 Problemstellung

Übergeordnetes Ziel der Netzbeeinflussung ist es, den Verkehr im betrachteten Netz unter Berücksichtigung vorhandener Einschränkungen (z. B. Störungen durch Staus aufgrund von Unfällen oder Baustellen) optimal zu verteilen. Dabei wird beabsichtigt, die Summe aller Fahrtzeiten der Fahrzeuge innerhalb der beeinflussten Netzmaschen zu minimieren. Ebenso angestrebt werden eine Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs und damit eine Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten des Systembetriebs.

Hierzu werden dem Verkehrsteilnehmenden Alternativrouten vorgegeben oder empfohlen und gegebenenfalls Informationen zu vorhandenen Störungen oder auch deren Auswirkungen auf die beeinflussten Netzbereiche an den entsprechenden Entscheidungspunkten angezeigt. Diese Informationen können auch Dritten zur Verfügung gestellt werden, z. B. über den Mobilitäts-Daten-Marktplatz (MDM) bzw. über die Mobilithek.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, eine Routenempfehlung kollektiv an den Verkehrsteilnehmenden zu übermitteln:

- **substitutive Wechselwegweisung**
Bei der substitutiven Wechselwegweisung werden die statischen Zielangaben der wegweisenden Beschilderung durch veränderbare Ziele ersetzt. Die Zielführung erfolgt nach den Grundsätzen der statischen Beschilderung.
- **additive Wechselwegweisung**
Zur additiven Wechselwegweisung werden von den statischen Wegweisern klar zu unterscheidende dynamische Wegweiser aufgestellt, die im Bedarfsfall eine Alternativroute empfehlen.
- **frei programmierbare dynamische Wechselwegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)**
dWiSta sind eine Form der additiven Wechselwegweisung. Dabei werden zusätzlich oder als Ersatz zur alternativen Routenempfehlung auch noch Informationen zum Ort und zum Ausmaß (Staulängen und/oder Fahrtzeiten) der schaltungsauslösenden Störung gegeben. Hierbei werden neben den zunächst eingesetzten Anzeigetechnologien mit LED-Textzeilen zwischenzeitlich auch LED-

Vollmatrix-Anzeigen eingesetzt, die in Bezug auf die Anzeigemöglichkeiten deutlich flexibler eingesetzt werden können.

Obwohl mittlerweile eine nicht unerhebliche Anzahl an Steuerungsmodellen von NBA für eine automatisierte Schaltung entwickelt wurde (siehe FGSV 2012 b; MARZ 2018), zeigt die Praxis, dass die Steuerung von NBA aktuell teilweise immer noch manuell (oder ggf. auch halbautomatisch) erfolgt, vor allem in komplexeren, vermaschten Autobahnnetzen. Es existieren aber auch NBA, die auf Grundlage der Fahrt- und Verlustzeiten im Netz die Wegweiser (dWiSta oder substitutive Wechselwegweiser) automatisch steuern.

Zur Beurteilung der Wirksamkeit von NBA wird derzeit das FGSV-Heft 311 „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ [FGSV 2007] herangezogen.

Das Ex-Ante-Verfahren in Heft 311 beurteilt die Wirksamkeit von NBA auf der Basis einer Steuerungsstrategie, bei der Restkapazitäten auf der Alternativroute berücksichtigt werden. Es wird von einer Wirkung ausgegangen, die sich aus der beeinflussbaren Verkehrsnachfrage, den Restkapazitäten auf der Alternativroute und dem Befolungsgrad einer Alternativroutenempfehlung ableitet. Der Befolungsgrad ist wiederum abhängig von der Netzmaschengröße und dem Umwegfaktor für die Alternativroute, wobei für diesen Zusammenhang keine empirisch gesicherten Grundlagen existieren. Bewertet werden reduzierbare Zeitkosten aus zu definierenden und auf das Jahr hochzurechnenden Verkehrsnachfrage- und Störfallszenarien. Der Nutzen wird anhand von Fahrtzeitgewinnen und reduzierten Fahrzeugbetriebskosten bei Umleitung des Verkehrs auf eine Alternativroute ermittelt.

Das in Heft 311 vorgeschlagene Ex-Post-Verfahren basiert auf einer Auswertung von Daten zu Verkehrsstärken, Stau- und Störungsdaten für die Zeiträume vor und nach der Inbetriebnahme einer Netzbeeinflussungsanlage. Unter Berücksichtigung von Annahmen, z. B. einer definierten Staugeschwindigkeit, werden vermiedene Staukosten im Vorher-Nachher-Vergleich als Ergebnis des Verfahrens ausgewiesen.

Beide Verfahren haben in der Anwendung die Einschränkung, dass die Eingangsgrößen im geforderten Umfang und Detaillierungsgrad nicht vorhanden oder empirisch schwer zu bestimmen sind. Insbesondere das Ex-Ante-Verfahren ist für mehrmaschige Netze mit mehreren Alternativrouten und gleichzeitig auftretenden Störungen nicht ausgelegt. Voraussetzung für die Wirksamkeitsanalyse von NBA über mehrere Netzmaschen wäre aber auch, dass eine Gesamtnetzstrategie unter Berücksichtigung mehrerer Störungen im Netz mit entsprechenden Wechselwirkungen abgeleitet wird. Die Verfahren wurden zwar im Rahmen des Forschungsvorhabens „Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts ‘Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen’ (FE 03/0425/2007/IGB)“ [BUSCH et al. 2009] überarbeitet und sind im Rahmen der RE-Entwurfsbearbeitung von NBA einzusetzen, die grundsätzlichen Probleme in der Anwendung konnten dabei allerdings nicht beseitigt werden.

1.2 Zielsetzung und Adressaten

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung zum Thema Netzbeeinflussung und die Erfahrungen aus dem praktischen Einsatz von Netzbeeinflussungsmaßnahmen zusammengetragen. Auf dieser Grundlage werden die derzeit vorhandenen Verfahren zur Wirksamkeitsermittlung von Netzbeeinflussungsmaßnahmen kritisch beleuchtet, Defizite dargestellt und ein praxistaugliches Wirksamkeitsanalyseverfahren entwickelt.

In Erweiterung der bisher angewendeten Verfahren zur Ex-Ante- und Ex-Post-Bewertung gemäß den „Hinweisen zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ [FGSV 2007] werden auch mehrmaschige Netze und verschiedene Nutzergruppen Berücksichtigung finden.

Auf Basis der Praxiserfahrungen in den verschiedenen Bundesländern sollen die Wirkungspotenziale von NBA zur effektiven Nutzung von vorhandenen Kapazitäten des Straßennetzes aufgezeigt werden. Dabei sollen vor allem weitere Wirkungskomponenten, die über die reine Alternativroutensteuerung zu erwarten sind, nach Möglichkeit in das Analyseverfahren einbezogen werden.

Das zu entwickelnde Bewertungsverfahren soll die derzeitigen Anforderungen in der Netzbeeinflussung mit zum Teil stark vermaschten Netzen und komplexen Netzstrukturen berücksichtigen und Aussagen zur Wirksamkeit von Netzbeeinflussungsmaßnahmen nach einem einheitlichen Vorgehen ermöglichen.

Die Unzulänglichkeiten des bestehenden Verfahrens haben dazu geführt, dass die einzelnen Straßenbau- lastträger unterschiedliche Herangehensweisen zur Definition von Steuerungsstrategien für die Netzbeeinflussung und zur Wirkungsermittlung anwenden. Daher werden in jedem Bundesland unterschiedliche, zum Teil (auch von externen Planungsbüros) eigens entwickelte Tools genutzt. An dieser Stelle wird ein einheitliches Vorgehen zur Definition von Steuerungsstrategien erarbeitet, welches für die jeweils unterschiedlichen Charakteristika der einzelnen strategischen Netze angewendet werden kann.

Wesentliches Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die relevanten Kenngrößen für ein großräumiges, vermaschtes Netzbeeinflussungssystem besser als bislang zu definieren, um das Systemverhalten und dessen verkehrliche Wirkung besser abschätzen zu können. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte von Bedeutung:

1. Reaktion auf die Verkehrssituation im Netz

Eine dynamische Netzbeeinflussungsmaßnahme muss auf die aktuell vorhandene und auf die zukünftig erwartete Situation (siehe Punkt 5) im gesamten strategischen Netz in Betracht ziehen. Dies ist sowohl bei der Strategieentwicklung als auch bei der Wirksamkeitsbetrachtung zu berücksichtigen. Eine einfache oder sukzessive Betrachtung singulärer Störungen, wie sie derzeit zur Wirkungsanalyse praktiziert wird, kann eine solche Reaktion nicht abbilden und die Wirkung somit nicht ermitteln. Bei sich überlagernden Netzmaschen in (eng) vermaschten Autobahnnetzen sollte grundsätzlich berücksichtigt werden, dass das Verkehrsaufkommen bei einer Umleitung aufgrund einer Störung nicht in eine andere maßgebende Störung geleitet wird. Weiterhin können derartige Störungen auf der Alternativroute durch Bündelung mehrerer Strategien, die jeweils sich überlagernde Alternativrouten nutzen, Probleme hervorrufen. Dabei sind ggf. auch betreiberübergreifende Strategien und deren Umsetzung zu berücksichtigen.

Es ist für einen Gesamtstrategieansatz von wesentlicher Bedeutung, dass zunächst eine Festlegung und Priorisierung der unterschiedlich charakterisierten Störungen erfolgt, welche in der Netzbeeinflussung berücksichtigt werden sollen.

2. Verkehrslageerfassung

Die Wirkung von dynamischen Netzbeeinflussungsmaßnahmen ist nicht nur von der Steuerungsstrategie und dem Steuerungsmodell, sondern maßgebend auch von der Qualität der Eingangsdaten abhängig. Nur eine ausreichend gute Erfassung des zu beeinflussenden Netzbereichs ermöglicht eine verlässliche Ermittlung des relevanten Nutzens der Maßnahme und den Nachweis der Wirkung. Die Datenerfassung wird in den derzeitigen Wirksamkeitsanalysen zur Netzbeeinflussung allerdings nicht berücksichtigt. Ein wichtiger Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass sich gerade in hochbelasteten Autobahnnetzen verschiedene Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen überlagern können. Das heißt, dass auf Strecken eines beeinflussten Netzes zusätzlich zur Netzbeeinflussung auch Anlagen zur Streckenbeeinflussung, temporären Seitenstreifenfreigabe, Zuflussregelung oder Knotenbeeinflussung im Einsatz sein können, die ebenfalls Anforderungen an die Verkehrslageerfassung und die Datenqualität haben.

3. Nutzerbedürfnisse

Der Verkehr setzt sich aus unterschiedlichen Nutzergruppen zusammen, wie bspw. Güterfern- und Güternahverkehr, Wirtschaftsverkehr, Transitverkehr, ortskundige Verkehrsteilnehmende. Deren Routenwahl und Fahrverhalten sind teilweise auch durch Restriktionen und Vorgaben eingeschränkt. Aufgrund früherer Erfahrungen, umfangreicher Ortskenntnisse sowie Informationen privater Navigationsdiensteanbieter kann eine Entscheidung für oder gegen eine angezeigte Umleitungsempfehlung erfolgen. Das Beeinflussungspotenzial kann aufgrund dieser Unterschiede sehr stark variieren.

Eine große Herausforderung in vermaschten Netzen ist es deshalb, nach Nutzergruppen spezifische Befolgungsraten zu ermitteln bzw. abzuschätzen und diese in eine Wirksamkeitsanalyse zu integrieren. Einer kollektiven Netzbeeinflussungsstrategie kommt in diesem Zusammenhang zugute, dass zumindest die Diskrepanzen zwischen den Strategien von Netzbeeinflussungsanlagen und fahrzeugseitigen Navigationssystemen weiter abnehmen werden. Gab es bei Einführung der dynamischen Navigationssysteme noch keinen Verbund zwischen den beiden Systemen, werden heute zumindest in gewissem Umfang Daten zwischen Anlagenbetreibern und Navigationsdiensteanbietern ausgetauscht.

4. Strategische Punkte

Der Einbezug von strategischen Punkten im Netz hat einen Einfluss auf das Wirkungspotenzial. Als strategische Punkte sind neben den Entscheidungspunkten (Autobahnkreuze und -dreiecke) auch zusätzliche nutzergruppenspezifische Ziele zu zählen, wie beispielsweise für die Nutzergruppe Güterverkehr die Häfen oder Güterverkehrszentren, die je nach Lage die Befolgung einer angezeigten Alternativroute beeinflussen. Die Einbeziehung strategischer Punkte erfordert auch eine engere Abstimmung von Steuerungsstrategien zwischen Behörden und Organisationen.

5. Proaktive Netzbeeinflussung

Anstatt auf Störungen in einzelnen Netzmaschen zu reagieren und deren Auswirkungen zu minimieren, ist eine proaktive Beeinflussung des Verkehrs zielführend, damit Störungen von vornherein verhindert bzw. in ihrer Ausprägung gemindert werden können.

Bei großen Netzmaschen kann die Prognose von Überlastungen oder Fahrtzeiten in den einzelnen Maschen nicht nur auf aktuellen Messdaten basieren. Mithilfe von Prognosemodellen kann insbesondere die Qualität von Kurzfristprognosen und mit historischen Daten die Qualität von Mittel- und Langfristprognosen erhöht werden [FGSV 2012 c]. Ebenso können Prognosewerte zu Umfelddaten hilfreich sein.

Ausgehend von den geschilderten Problemstellungen und den Überlegungen zur Erweiterung und Ergänzung (siehe o.g. fünf Aspekte) werden Analyseverfahren für die Wirksamkeitsabschätzung (ex-ante) und für den Wirksamkeitsnachweis (ex-post) sowie Steuerungsstrategien für eine Netzbeeinflussung unter Berücksichtigung aktueller Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung, aber auch auf Basis praktischer Erfahrungen aus dem Betrieb von Netzbeeinflussungsanlagen entwickelt.

Die bisherige Praxis gemäß der Verfahrensweise nach [FGSV 2007] berücksichtigt einzelne Einflussfaktoren in Bezug auf die Wirksamkeit von NBA, deren tatsächliche Rolle und Bedeutung in der Einflussnahme weitergehend zu analysieren sind. So werden die erzielbaren Befolgungsgrade bestimmt durch die Netzmaschengröße und dem Umwegfaktor. Zudem wird zwischen dWiSta-Anzeigen und Wechselwegweisern differenziert. Dies ist mit Blick auf die zwischenzeitlich vorliegenden Erfahrungen mit NBA nicht mehr ausreichend. Es wird erwartet, dass die bisherigen Ansätze angepasst bzw. ergänzt werden können, um bspw. zwischen Pkw- und Lkw-Verkehr zu differenzieren und somit deren unterschiedliche Empfindlichkeit in Bezug auf Fahrtzeitunterschiede und Höhenprofile der ausgewiesenen Routen in die Betrachtung einzubeziehen. Zudem stellt sich die Frage, welchen Einfluss alternative Informationskanäle zu den Komponenten einer NBA (Navigationsdienste, Verkehrsmeldungen u.ä.) auf die Entscheidungen der durch die NBA-Maßnahmen betroffenen Verkehrsteilnehmenden haben. Diese ersten Ansätze für eine Erweiterung der Gruppe von Einflussfaktoren sollen geprüft und durch weitere Ansätze ergänzt werden. Ziel ist es, Einflussfaktoren zu erfassen, ihre Relevanz und Messbarkeit zu analysieren und in ein Wirksamkeitsanalyseverfahren zu integrieren.

2 Bestandsaufnahme Netzbeeinflussung in Deutschland

2.1 Literaturanalyse – Überblick zum Stand des Wissens

Für den zielführenden Einsatz einer Netzbeeinflussung bedarf es einer Situationsermittlung und der darauf aufbauenden Analyse der ermittelten Verkehrssituation. In der Differenzierung der verkehrlichen Situationsermittlung kann zwischen der Verkehrslageermittlung und der Störungserkennung unterschieden werden. Hierzu können sowohl lokal erfasste Online-Verkehrsdaten herangezogen werden als auch streckenbezogene Verkehrsdaten, die sich aus den sich im Straßennetz bewegendenden Fahrzeugen ergeben. Die letztgenannte Datenquelle gewinnt mit wachsender Verfügbarkeit und damit verbesserter Repräsentativität zunehmend an Bedeutung. Die sachgerechte Positionierung von Querschnitten zur lokalen Datenerfassung und der Einbezug von streckenbezogenen Daten spielt für die situationsgerechte Entscheidungsfindung in der Netzsteuerung eine wesentliche Rolle. In die Entscheidungsfindung muss dabei neben der Erarbeitung von Maßnahmen für definierte Verkehrssituationen im betrachteten Streckennetz (im Sinne einer Steuerungsstrategie) auch deren tatsächliche Wirksamkeit eingehen. Die Wirksamkeit wird wesentlich durch die tatsächlich beeinflussbare Teilmenge der Verkehrsteilnehmenden und die Robustheit der aus einer Alternativroutensteuerung resultierenden Verkehrssituation (im Sinne einer belastbaren Aussage zur Leistungsfähigkeit) beeinflusst.

Zunächst werden im folgenden Abschnitt die im Zusammenhang mit dem Thema Netzbeeinflussung relevanten Begrifflichkeiten definiert (Kapitel 2.1.1). In den darauffolgenden Abschnitten werden vorhandene Erkenntnisse aus dem aktuellen Richtlinienwerk und der Forschung zusammengetragen (Kapitel 2.1.2 und 2.1.3). Dokumentierte Erfahrungen aus der Praxis zu den Themen Netzbeeinflussung und erzielbare Wirkungen werden in Kapitel 2.1.4 dargestellt. Durch die Einbeziehung der Erkenntnisse aus Experteninterviews mit Vertretenden der relevanten Straßenbauverwaltungen der Bundesländer mit dem Fokus auf Erfahrungen zur Netzbeeinflussung (insbesondere auch zu Verfahren zur Analyse von relevanten Netzmaschinen, Verkehrssituationen, zur Definition von Maßnahmen sowie zur Wirkungsermittlung) (Kapitel 2.2) wird die Bestandsanalyse zur Netzbeeinflussung in Deutschland abgeschlossen. In Kapitel 2.3 werden die in der Literatur und aus der Praxis gewonnenen Erkenntnisse kritisch analysiert und in einen Kontext mit der Konkretisierung der bisherigen Vorgehensweise in Kapitel 2.4 gestellt.

2.1.1 Begriffsbestimmungen

Die Einführung von Definitionen für zentrale Begriffe der Netzbeeinflussung und Verfahren der Wirksamkeitsanalyse sind zur Herstellung eines einheitlichen Verständnisses von besonderer Bedeutung. Ausgangspunkt stellen dabei die vorhandenen Definitionen in den Begriffsbestimmungen der FGSV [FGSV 2020] dar. Wird für die einzelnen Begriffe eine abweichende Definition gegenüber den FGSV-Begriffsbestimmungen getroffen oder es sind bisher keine eindeutigen Begriffsdefinitionen vorhanden, so sind die vorgenommenen Definitionen mit (neu) gekennzeichnet. Folgende Begriffe werden dabei als relevant angesehen:

Akzeptanz (neu)

Bereitschaft, einer Maßnahme zur Verkehrsbeeinflussung freiwillig und zustimmend zu folgen. Der Begriff "Akzeptanz" ist nur in Bezug auf den einzelnen Verkehrsteilnehmenden eindeutig.

Alternativroute (neu)

Folge von Strecken, auf die für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung zwischen einem Entscheidungspunkt und einem Endpunkt, bei einer Störung auf der Normalroute im Rahmen einer Routenempfehlung verwiesen wird (angelehnt an [FGSV 2020])

Auslastungsgrad

Verhältnis der sich aus der Verkehrsnachfrage ergebenden Verkehrsstärke zur Kapazität [FGSV 2020]

Beeinflussungspotenzial (neu)

relativer Anteil von Fahrzeugen eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt, für den sich durch die Informationen zur Routenänderung (in einer NBA) Vorteile ergeben.

- Beeinflussungsbereich (neu)**
relevanter Teilbereich des Straßennetzes für die Anzeige von Störungsinformationen und Alternativroutenempfehlungen ausgehend von einem Informationsstandort
- Befolgung (neu)**
Handlung, bei dem ein Fahrzeugführer aufgrund der Verkehrsinformation sein Verhalten ändert und der in der Verkehrsinformation enthaltenen Empfehlung folgt.
Im Fall einer Wechselwegweisung liegt eine Befolgung somit dann vor, wenn ein Fahrzeug aufgrund einer Routeninformation seine Normalroute verlässt und die empfohlene Alternativroute wählt. Der Begriff „Befolgung“ ist damit nur in Bezug auf das einzelne Fahrzeug eindeutig. (angelehnt an [WERMUTH / WULF 2007])
- Befolungsgrad (neu)**
Relativer Anteil aller Fahrzeuge eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt, der bei Vorliegen einer Störung auf der Normalroute unabhängig von der Informationsquelle seine Routenwahl ändert.
- Bruttowirkung (neu)**
Nettowirkung zzgl. Der Ergebnisindikatoren mit Ursache in anderen Maßnahmen und durch allgemeine Trends
- Durchfahrende (neu)**
Verkehrsteilnehmende, die die gesamte Normalroute üblicherweise (im ungestörten Zustand) ausgehend vom Entscheidungspunkt bis zum Endpunkt durchfahren
- Durchgangsverkehrsanteil**
Anteil der Verkehrsvorgänge durch ein festgelegtes Gebiet, deren Ziele und Quellen außerhalb dieses Gebiets liegen (angelehnt an [FGSV 2020])
Anteil der Fahrzeuge am Entscheidungspunkt der NBA, die die beeinflusste Netzmasche komplett durchfahren und diese nicht im Verlauf der Normalroute verlassen [WERMUTH / WULF 2007]
- Einfahrende (neu)**
Verkehrsteilnehmende, die am Entscheidungspunkt im ungestörten Zustand in die Netzmasche (beschrieben durch Normal- und Alternativroute) einfahren
- Einflussbereich (neu)**
Netzbereich, in dem Informationen an einem Entscheidungspunkt einer NBA, das Routenwahlverhalten und den Informiertheitsgrad der Verkehrsteilnehmenden verändern (vgl. auch Netzmasche).
- Entscheidungspunkt (neu)**
ein Ort stromaufwärts eines Knotenpunktes im betrachteten Streckennetz (d.h. Autobahnkreuz oder -dreieck), an dem Verkehrsteilnehmende eine Entscheidung bezüglich der weiteren Routenwahl zu einem spezifischen Fernziel treffen müssen.
- Endpunkt (einer Normal- oder Alternativroute) (neu)**
ein Ort stromabwärts eines Knotenpunktes im betrachteten Streckennetz (d.h. Autobahnkreuz oder -dreieck), an dem Normal- und Alternativroute zusammentreffen.
- Ereignis**
eine Situation, die auf der Straße eintritt, die aber nicht notwendigerweise einen negativen Einfluss auf die Sicherheit und/oder Kapazität des Straßennetzes hat [EASYWAY 2012 b]
- Ergebnisindikator (neu)**
Maßzahl für die Veränderung einer Kenngröße (oder der Kombination mehrerer Kenngrößen) gegenüber einem definierten Bezugszustand durch eine Netzbeeinflussungsmaßnahme
- Fahrtzeit**
Zeitbedarf für die Durchführung einer Fahrt (des mit einem Verkehrsmittel zurückgelegten Abschnitts einer Reise) [FGSV 2020]
- Hauptroute**
siehe Normalroute
- Informationsstandort (neu)**
Position einer Anzeige im Straßennetz zur Weitergabe von verkehrsrelevanten Informationen an die Verkehrsteilnehmenden

Informiertheitsgrad (neu)

Relativer Anteil aller Fahrzeuge an einem Querschnitt, der die über die Komponenten der NBA visualisierten Informationen in seinen Entscheidungen zur Routenwahl berücksichtigen kann.

Kontinuitätsregel

Ein einmal in die Beschilderung aufgenommenes Ziel muss in der folgenden Wegweisung bis zum Erreichen des Ziels wiederholt werden. [FGSV 2001]

Maßnahme

abstrakt formulierte Handlungsanweisung als Folge einer oder mehrerer Situationen [MARZ 2018]

Netto-Befolgungsgrad (neu)

relativer Anteil von Fahrzeugen eines Fahrzeugstroms an einem Querschnitt, der einer Empfehlung aufgrund der Anzeige einer verkehrsrelevanten Information mit den Komponenten einer NBA befolgt. Auf ein einzelnes Fahrzeug bezogen ist der Netto-Befolgungsgrad der „Befolgungswahrscheinlichkeit“ gleichzusetzen [WERMUTH / WULF 2007]
Anteil der von einer Routenempfehlung zur kollektiven Verkehrssteuerung angesprochenen Verkehrsteilnehmenden, der dieser Empfehlung folgt [GEIß et al. 1983]

Nettowirkung (neu)

Teil der Ergebnisindikatoren mit Ursache in der Auslösung einer Netzbeeinflussungsmaßnahme

Netzabschnitt (neu)

Autobahnabschnitt zwischen zwei Entscheidungspunkten (AK / AD) innerhalb des Autobahnnetzes

Netzbeeinflussungsanlage

Verkehrsbeeinflussungsanlage zur Steuerung der Routenwahl in einem Netz durch Wechselverkehrszeichen [FGSV 2020]

Netzmasche (neu)

eine aus mehreren aufeinander folgenden Netzelementen bestehende, in sich geschlossene Folge von Strecken [FGSV 2020]
für den Bereich der Netzbeeinflussung bedeutet dies: Die Netzmasche ist definiert durch eine Kombination aus Normalroute und Alternativroute. Die Normalroute ist dabei bezogen auf ein Fernziel, das am Entscheidungspunkt in der statischen Wegweisung („Blaubeschilderung“) dem Streckenverlauf der Normalroute zugeordnet wird. Die Netzmasche endet am Endpunkt, ab dem sich die Routenführung beider Routen in Richtung des Fernziels wieder überlagern. Der Entscheidungspunkt als Beginn der Netzmasche liegt auf der Richtungsfahrbahn einer Autobahn im Zulauf auf einen Autobahnknotenpunkt, in dem auf die Alternativroute gewechselt werden muss. Die Netzmasche wird durch die zulaufende Richtungsfahrbahn bestimmt und ihr ist eine so definierte Gruppe von Verkehrsteilnehmenden zugeordnet. Der Endpunkt ist auf der ihm zugeordneten Richtungsfahrbahn positioniert, auf der Normal- und Alternativroute zum relevanten Fernziel wieder gemeinsam geführt werden.

Netzmaschengröße (neu)

Streckenlänge der Normalroute in km

Normalroute (neu)

Folge von Strecken, die für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung zwischen einem Entscheidungspunkt und einem Endpunkt bevorzugt befahren wird und auf die üblicherweise auch in der wegweisenden Beschilderung verwiesen wird. (alternativ: Hauptroute; angelehnt an [FGSV 2020])

Nutzen

Maß für die Wertabschätzung von Wirkungen einer Maßnahme oder eines Zustands [FGSV 2020]

Nutzenkomponente (neu)

Teilbereich des erzielten Nutzens einer Maßnahme bzw. eines Maßnahmenbündels

Nutzeroptimum (neu)

Verfolgung des Ziels der Minimierung der Kosten für jeden einzelnen Nutzer eines Systems; im Gleichgewichtszustand können entsprechend des 1. Wardrop'schen Prinzips Verkehrsteilnehmende ihre Fahrtzeit nicht verringern, indem ein Wechsel auf eine Alternativroute stattfindet.

Restkapazität / Kapazitätsreserve

Differenz zwischen der Kapazität einer Strecke und der sich aus der Verkehrsnachfrage ergebenden Verkehrsstärke [FGSV 2020]

Störfall

unerwartete und unvorhersehbare Situation auf der Straße, die die Sicherheit und/oder Kapazität des Straßennetzes für eine begrenzte Zeit beeinträchtigt [EASYWAY 2012 b]

Störung

siehe Störfall

Störungsart (neu)

Charakterisierung einer Störung und deren Ursache hinsichtlich der Auslösung von Steuerungsstrategien

Störungstyp (neu)

Charakterisierung einer Störung und deren Ursache hinsichtlich der Berücksichtigung in der Wirksamkeitsanalyse

Strategie (neu)

ein vorab festgelegtes Handlungskonzept für das Ergreifen von Maßnahmen (-bündeln) zur Verbesserung einer definierten (Ausgangs-) Situation [FGSV 2003 b]

Für den Bereich der Netzbeeinflussung bedeutet dies: die Reaktion auf eine oder mehrere Störfälle bzw. Ereignisse im Autobahnnetz mit Einfluss auf den Verkehrsablauf. Eine Strategie kann in diesem Zusammenhang entweder lediglich eine Information zu den aktuellen Störfällen bzw. Ereignissen sein oder zusätzlich auch eine Umleitungsempfehlung enthalten.

Strategisches Netz

zusammenhängende Abschnitte eines Straßennetzes, die von regional bedeutsamen Problemen betroffen sein können, eine hohe Leistungsfähigkeit aufweisen und die in die Verkehrsbeeinflussung/-information einbezogen werden können [FGSV 2011]

Streckenabschnitt (neu)

Autobahnabschnitt zwischen zwei Anschlussstellen innerhalb eines Netzabschnittes oder zwischen Anschlussstelle und Autobahnkreuz / Autobahndreieck am Anfang bzw. Ende des Netzabschnittes

Systemoptimum (neu)

Verfolgung des Ziels der Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten eines Systems; im Gleichgewichtszustand sind entsprechend des 2. Wardrop'schen Prinzips die Kosten auf allen Routen gleich

Umwegfaktor – räumlich (neu)

Quotient aus zurückgelegter Weglänge und Luftlinienentfernung zwischen Quelle und Ziel einer Reise [FGSV 2020]

Für den Bereich der Netzbeeinflussung adaptiert bedeutet dies: Quotient aus der Weglänge der Alternativroute und der Weglänge der eigentlichen Normalroute zwischen Entscheidungspunkt und Endpunkt

Umwegfaktor – zeitlich (neu)

Quotient aus der Fahrtzeit auf der Alternativroute und der Fahrtzeit auf der eigentlichen Normalroute zwischen Entscheidungspunkt und Endpunkt für das Gesamtkollektiv aller Verkehrsteilnehmenden; ggf. bezogen auf einzelne Gruppen von Verkehrsteilnehmenden (Pkw oder Lkw)

Verkehrsaufkommen (neu)

Anzahl von Fahrzeugen in einem Fahrzeugstrom oder an einem Querschnitt innerhalb eines bestimmten Zeitraumes.

Verlustzeit (neu)

Differenz der Fahrtzeiten auf einer Route mit vorhandener Störung und im ungestörten Zustand

Wirksamkeit (neu)

(nachgewiesener) positiver Effekt einer Maßnahme in einer Verkehrssituation gegenüber der Verkehrssituation ohne Maßnahme

Wirksamkeitspotenzial (neu)

maximal erreichbarer positiver Effekt einer Maßnahme in einer Verkehrssituation gegenüber der Verkehrssituation ohne Maßnahme

Wirkung (neu)

Gesamtheit der Effekte einer Maßnahme gegenüber des Ausgangszustands. Diese kann positiv oder negativ sein.

Wirkungskomponente (neu)

Teilbereich der erzielten Wirkung einer Maßnahme bzw. eines Maßnahmenbündels

2.1.2 Aspekte bei der Anwendung von NBA

Steuerungsstrategien bei NBA

Zur Verteilung des Verkehrs im Netz existieren mit Systemoptimum und Nutzeroptimum zwei unterschiedliche verkehrstheoretische Ansätze. Das Systemoptimum basiert auf der Idee einer Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten des Systembetriebs. Dies wird durch eine optimale Verteilung des Verkehrs im Netz angestrebt, allerdings unter Inkaufnahme einer möglichen Benachteiligung einzelner Nutzer, da Teilströme gegenüber anderen unter Umständen bevorzugt werden. Durch eine unilaterale Veränderung der Routenwahl wird keine (individuelle) Verbesserung erreicht, stattdessen wird auf eine „Gleichgewichtslösung“ abgezielt. [ZACKOR 1999]

Bei der Verfolgung des Nutzeroptimums werden Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen ergriffen, die die Minimierung der Kosten für jeden individuellen Nutzer anstreben. Dabei werden gegenüber dem Systemoptimum die Bedürfnisse jedes einzelnen Nutzers berücksichtigt. Aus Sicht des Systems sind die mit der Verfolgung eines Nutzeroptimums erzielbaren Effekte auf das Gesamtverkehrssystem weniger stark ausgeprägt.

Mit den Vor- und Nachteilen der beiden Strategien setzten sich in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche Veröffentlichungen auseinander, ohne dass diese jedoch zu einem eindeutigen Ergebnis führten oder eine allgemein gültige Anwendungsempfehlung abgeleitet werden konnte (z. B. ZACKOR 1999; BECKMANN et al. 2001).

Die erste Anlage zur Netzbeeinflussung wurde Ende der 1970er Jahre im Versuchsfeld Rhein-Main eingerichtet. Das beeinflusste Netz der Anlage umfasste den Bereich Frankfurt – Darmstadt – Rüsselsheim – Wiesbaden mit Abschnitten auf den Autobahnen A3, A5, A60, A66, A67A648, A671 und A672. Bereits in dieser Anlage wurden erste Algorithmen zur automatisierten Steuerung entwickelt. Obwohl dabei im Unterschied zu heute auch Beschränkungen aufgrund der verfügbaren Hardware beim Entwurf des Steuerungsmodells eine größere Rolle spielten [EVERTS et al. 1978], ist das grundsätzliche Vorgehen seitdem unverändert. Über ein online-Verfahren zur Situationsermittlung werden Störfälle, d. h. Bereiche mit temporär eingeschränktem oder gestörtem Verkehrsfluss, im Netz erkannt, um anschließend aus einem zuvor definierten Maßnahmenkatalog eine geeignete Maßnahme auszuwählen und diese in Schaltbefehle für die Anzeigeelemente umzusetzen. Beim Entwurf der einzelnen Maßnahmen des Maßnahmenkataloges ist darauf zu achten, dass sich durch die darin vorgegebene Anzeige keine Widersprüche mit der statischen Wegweisungsbeschilderung ergeben und zudem die Kontinuität der Wegweisung gewahrt wird [FGSV 2012 a]. Verkehrsteilnehmende, für die am Entscheidungspunkt eine Umleitungsempfehlung ausgesprochen wurde, müssen bis zum Wiedererreichen der Normalroute durchgehend geführt werden, auch für den Fall, dass die ursächliche Störung zur Auslösung der Schaltung nicht mehr besteht.

In dem für die erste Anlage zur Netzbeeinflussung im Versuchsfeld Rhein-Main entwickelten Steuerungsmodell NIKOS (Netz- und Verkehrsmodell zur intervallmäßigen Kontrolle und Optimierung von Staubbildungen) [EVERTS et al. 1976, EVERTS et al. 1978] erfolgt in regelmäßigen Abständen eine Berechnung der Auslastung an vorgegebenen (bekannten) Schwachstellen im von der NBA beeinflussten Streckennetz. Wird dabei der vorgegebene Schwellenwert von 70 % überschritten oder ist zum gegebenen Zeitpunkt eine Schaltung aktiv, erfolgt die Berechnung der sogenannten Zielfunktion für alle denkbaren Maßnahmen (= Steuerungseingriffe). Dieses Vorgehen wurde u. a. gewählt, um die erforderliche Rechenleistung zu reduzieren, indem nicht in jedem Fall die rechenintensive Ermittlung der Zielfunktion durchgeführt werden muss. Trotz dieser mittlerweile nicht mehr bestehenden Limitierung durch die verfügbare Rechenleistung ist diese Vorgehensweise grundlegend beibehalten worden, da ein Hinweis auf eine Alternativroute nur bei

einem bestehenden Störfall oder einem kritischen Verkehrszustand mit einem erhöhten Störfallrisiko erfolgen soll [FGSV 1992, ZACKOR et al. 2000].

Die Maßnahmenauswahl und -bewertung erfolgt anhand einer mathematischen Beschreibung des angestrebten Systemzustandes in einer Zielfunktion. Sie berücksichtigt einerseits die Fahrtzeit, welche mittels einer Kurzzeitprognose der Verkehrsbelastung und der über ein dem jeweiligen Streckenabschnitt zugeordnetes Fundamentaldiagramm abgeleiteten Fahrtgeschwindigkeit berechnet wird. Andererseits wird das prognostizierte Risiko für einen Auffahrunfall, das sich aus der Anzahl der auf ein Stauende auffahrenden Fahrzeuge ableitet, berücksichtigt. Der Steuerungseingriff, für den die Zielfunktion einen Minimalwert erreicht, wird von der Steuerungssoftware entweder zur Schaltung vorgeschlagen (eine finale Entscheidung des zuständigen Mitarbeitenden der Verkehrszentrale zur Umsetzung ist notwendig – open loop, also im Sinne eines halbautomatischen Vorgehens) oder direkt umgesetzt (closed loop, also im Sinne einer automatischen Steuerung). Zur Modellierung des geänderten Verkehrsflusses, der sich durch einen Steuerungseingriff ergibt, ist es erforderlich, die Wirkung des Steuerungseingriffes auf den Verkehrsfluss möglichst realitätsnah abzubilden. Dazu ist es u. a. notwendig, die Anzahl der Fahrzeuge, die aufgrund des Steuerungseingriffes ihre Routenwahl anpassen, richtig abzuschätzen.

Die Zielfunktion stellt das zentrale Werkzeug für die Bewertung möglicher Steuerungseingriffe dar. Alle durch die Netzbeeinflussung angestrebten Wirkungen sollten in der Zielfunktion abgebildet sein und die einzelnen Steuerungseingriffe einen jeweils unterschiedlichen Effekt auf das Ergebnis der Zielfunktion zeigen [FGSV 1992]. Durch die Formulierung der Zielfunktion ergeben sich Anforderungen an das Datenerfassungssystem, da Eingangswerte der Zielfunktion entweder direkt gemessen oder aus Messwerten abgeleitet werden können müssen. Dabei muss sichergestellt sein, dass die Erfassung und Auswertung des Verkehrsablaufs im gesamten von der betrachteten NBA beeinflussten Streckennetz nach den gleichen Kriterien erfolgt, um so eine Vergleichbarkeit der abgeleiteten Daten gewährleisten zu können [FGSV 1992, ZACKOR et al. 2000, HÜLSEMANN et al. 2009]. Die in der Praxis oft beträchtlichen Kommunikations- und Prozesszeiten (eventuell inkl. Glättung der Detektionsdaten) führen dazu, dass die zur Berechnung der Zielfunktion verwendeten Prognoseergebnisse auf Basis der Detektorwerte zum Zeitpunkt der Verfügbarkeit der Prognose bereits nicht mehr aktuell sind. In diesem Fall ist zur Darstellung des aktuellen Verkehrszustandes eine Kurzfristprognose erforderlich [FGSV 2012 c].

Durch das Steuerungsmodell NIKOS (ohne Berücksichtigung von Nebenbedingungen in der Zielfunktion) wird in der beeinflussten Netzmasche ein Systemoptimum angestrebt. Es wird dadurch erreicht, dass jener Steuerungseingriff umgesetzt wird, bei dem im Einflussbereich der NBA die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten am geringsten bzw. der volkswirtschaftliche Gesamtnutzen am größten sind. Für einzelne Verkehrsteilnehmende ergibt sich dabei jedoch durch die Befolgung der gegebenen Routenempfehlung ein Nachteil. Da die Verkehrsteilnehmenden aber im Allgemeinen an der Optimierung ihrer persönlichen Fahrtzeit interessiert sind (Nutzeroptimum), kann eine Steuerung auf Basis des Systemoptimums mittelfristig zu einer verringerten Akzeptanz der Netzbeeinflussungsmaßnahmen und damit zu geringeren Befolgungsgraden der angezeigten Empfehlungen führen [BUSCH et al. 2012 b].

Eine Auslegung der Zielfunktion auf das Nutzeroptimum soll sicherstellen, dass Verkehrsteilnehmende, die der angezeigten Routenempfehlung folgen, davon keinen (empfundenen) Nachteil haben. Das Nutzeroptimum führt aus Systemsicht dazu, dass die erzielbaren Ergebnisse weniger stark ausgeprägt sind. Für die Verkehrsteilnehmenden ist bei der adhoc-Bewertung einer Routenempfehlung zumeist die Fahrtzeit das wesentliche Kriterium. Weshalb auch der Fokus bei der Bestimmung des Nutzeroptimums darauf gelegt wird. Die Auslegung des Steuerungsmodells auf das Nutzeroptimum zieht eine einseitige Betrachtung nach sich, die weitere Nutzen- und Kostenkomponenten externalisiert und zudem eine bezüglich des volkswirtschaftlichen Gesamtnutzens suboptimale Steuerung hervorruft. Aus Gründen der einfachen Handhabbarkeit wird die Zielfunktion in der Praxis jedoch auch bei der Bestimmung des Systemoptimums oftmals auf die Ermittlung der Fahrtzeit im Kollektiv beschränkt [ZACKOR 1999].

Bei der Auswahl des geeigneten Steuerungseingriffes ist eine entsprechende Akzeptanz bei den Verkehrsteilnehmenden anzustreben, um eine Verhaltensänderung im Sinne des verfolgten Steuerungsprinzips zu erreichen. Es ist zu vermeiden, dass zur Umfahrung eines Störfalles auf eine Alternativroute umgeleitet wird, auf der ebenfalls ein Störfall oder ein kritischer Verkehrszustand (z. B. Auslastungsgrad $\geq 90\%$) vorliegt [FGSV 2012 a, CINDRIC-MIDDENDORF et al. 2015, GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018]. Gleiches gilt für den Fall einer hohen Wahrscheinlichkeit, dass sich durch die aufgrund des Steuerungseingriffes umgelenkten Verkehrsströme der Auslastungsgrad auf der Alternativroute derart erhöhen wird, dass

ein weiterer Störfall hervorgerufen wird. Durch die Nutzbarmachung der kapazitätssteigernden Wirkung anderer Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen an den Engstellen auf der Alternativroute (sofern vorhanden) oder ein abgestimmtes Arbeitsstellenmanagement, durch das verhindert wird, dass während eines Steuerungseingriffes die Kapazität auf der Alternativroute temporär reduziert wird, lässt sich die Verfügbarkeit der Alternativrouten erhöhen [CINDRIC-MIDDENDORF et al. 2015, LISTL et al. 2015]. Zur Einbeziehung anderer Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) in die Steuerung einer NBA gibt es jedoch aktuell keine verbindlichen Vorgaben [MARZ 2018].

Im Rahmen des Projektes „Konzeption eines einheitlichen Strategiemangements als Grundlage für die Netzsteuerung auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen“ [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018] wurde ein einheitliches Vorgehen entwickelt, welches strukturiert die wesentlichen strategischen Punkte als mögliche Ziele einer Netzbeeinflussung berücksichtigt. Ausgangspunkt der Betrachtungen stellt jeweils der Standort eines Anzeigequerschnittes (bzw. einer Kette mehrerer Anzeigequerschnitte) an einem Entscheidungspunkt im Autobahnnetz dar. Als Entscheidungspunkt werden hierbei alle Autobahnkreuze und Autobahndreiecke bezeichnet, da im Zulauf auf diese von den Verkehrsteilnehmenden jeweils eine Entscheidung bei der Routenwahl getroffen werden muss.

Ausgehend von diesem betrachteten Entscheidungspunkt wird das Autobahnnetz vereinfacht als Knoten-Kanten-Modell dargestellt, welches aus den Entscheidungspunkten und den dazwischen liegenden Verbindungsstrecken im Autobahnnetz besteht. Dabei wird jeweils die Routenführung zu den am Ausgangspunkt in der statischen Wegweisung (sog. „Blaubeschilderung“) aufgeführten Fernzielen untersucht. Hierfür werden diese Fernziele jeweils einem, bzw. bei Fernzielen mit großer Ausdehnung (z. B. Großstädte) mehreren, Entscheidungspunkten zugeordnet. In Bild 2-1 ist diese Zuordnung für den Entscheidungspunkt AK Meerbusch auf der A57 in Fahrtrichtung Süden beispielhaft dargestellt.

Zu jedem Entscheidungspunkt, der einem dieser Fernziele zugeordnet wurde, wird geprüft, ob in dem betrachteten Modell des Autobahnnetzes ab dem Ausgangspunkt eine Routenführung möglich ist, die von der durch die Blaubeschilderung vorgegebenen Normalroute abweicht. Eine so bestimmte Alternativroute spannt zusammen mit der Normalroute vom Ausgangspunkt bis zu dem Entscheidungspunkt, an dem die beiden Routen wieder zusammenlaufen, eine mögliche Netzmasche zur Netzbeeinflussung auf.

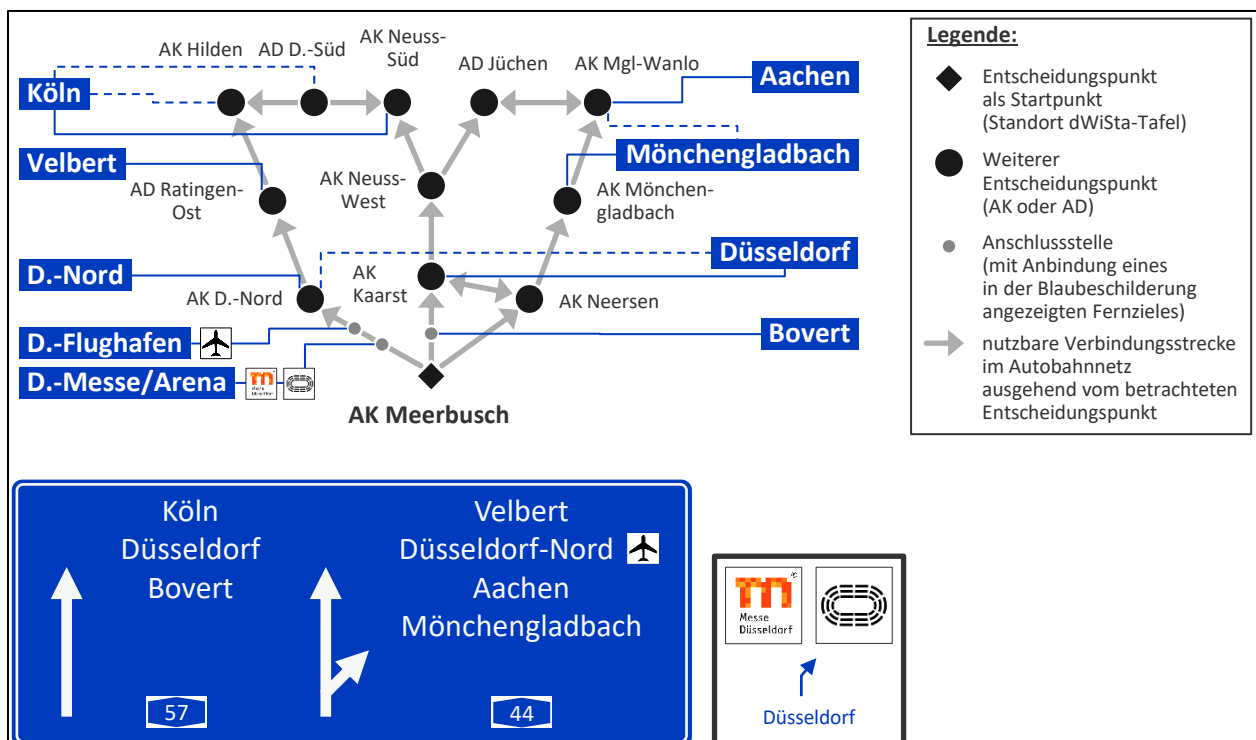


Bild 2-1 Übersicht der strategischen Punkte / Ziele einer Netzbeeinflussung (oben) und bestehende Blaubeschilderung am Beispiel des AK Meerbusch auf der A57 in Fahrtrichtung Süden) [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018]

Vor allem in komplexeren Netzen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von mehreren gleichzeitigen Störfällen, muss eine Entscheidungslogik definiert sein, mithilfe derer bestimmt wird, welcher Störfall angezeigt werden soll, falls auf der Normalroute mehrere Störfälle zeitgleich vorliegen. Eine Priorisierung der Störfälle anhand der Störungsart wird hier als zielführend angesehen. In [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018] wird dabei folgende Priorisierungsreihenfolge vorgesehen:

1. Vollsperrung
2. Stau
3. Ereignis
4. Baustelle
- n Teilspernung für Gruppen von Verkehrsteilnehmenden (z. B. Lkw-Verkehr) (n, n = 2 ... 5)

Die Einordnung von Störfällen der Störungsart „Teilspernung für Gruppen von Verkehrsteilnehmenden“ in der Priorisierungsreihenfolge soll jeweils unter Berücksichtigung der lokalen Randbedingungen erfolgen. Angezeigt werden soll jeweils der Störfall mit der höchsten Priorität. Gibt es mehrere Störfälle mit der gleichen Priorität, so wird der Störfall angezeigt, dessen Entfernung zum Entscheidungspunkt am geringsten ist.

Bei betreiberübergreifenden Strategien ist eine Interessenabwägung zwischen den beteiligten Straßenbaulastträgern bei gleichzeitig auftretenden Störungen und Schaltanforderungen notwendig. Insbesondere immer dann, wenn vorabgestimmte Strategien nicht auf die auftretenden Störungen angewendet werden können. Zur Verbesserung der Transparenz kann in diesen Fällen ein Austausch der Verkehrslageübersicht im Gesamtnetz hilfreich sein. Dies gilt auch für die aktuellen Anzeigehalte der vorhandenen Komponenten der Netzbeeinflussung (dWiSta-Anzeigesysteme, substitutive Wechselwegweiser) [RIEGELHUTH et al. 2010].

Datengrundlage und Situationserkennung bei NBA

Als Grundlage für die Steuerungsalgorithmen für NBA dient die Bestimmung der aktuellen Fahrtzeit auf den einzelnen Streckenabschnitten im Einflussbereich der NBA. Diese wird in vielen Fällen aus querschnittsbezogenen Messwerten abgeleitet (z. B. Steuerungsmodell NIKOS, [FGSV 2008 a, FGSV 2019]). Aktuell kommen jedoch vermehrt auch Verfahren zur direkten Messung bzw. Berechnung der Fahrtzeit zum Einsatz. Hierbei werden Verfahren zur Wiedererkennung von Fahrzeugen z. B. mithilfe von Bluetooth-Scannern [LISTL et al. 2019], Kameras zur Kennzeichenwiedererkennung (ANPR) oder unter Verwendung von Floating Car Data (FCD) verwendet. Auf Basis dieser Messwerte, und je nach Verfahren weiterer Daten (z. B. historische Verkehrsdaten, typisierte Ganglinien etc.), wird eine Prognose der Fahrtzeit erstellt. In Abhängigkeit davon, welche Messwerte und Prognoseverfahren verwendet werden, ergeben sich dabei folgende Schwierigkeiten:

- Bei einer Prognose auf Basis der Verkehrsnachfrage ist zu berücksichtigen, dass Daten zur Verkehrsnachfrage nicht direkt detektiert werden, sondern anhand der gemessenen lokalen Verkehrsstärke abgeleitet werden. Die Anzahl der Verkehrsteilnehmenden, für die eine Alternativroute geeignet ist, werden durch diese gemessenen Werte nicht eindeutig erfasst. Bis zum Erreichen der Kapazität entspricht diese Verkehrsstärke der Verkehrsnachfrage. Die Kapazität stellt jedoch den theoretischen Maximalwert der Verkehrsstärke dar, wodurch eine weiter steigende Verkehrsnachfrage in den Messwerten der Verkehrsstärke nicht abgebildet werden kann [FGSV 2012 c].
- Die Ergebnisse einer direkten Messung der Fahrtzeit müssen richtig interpretiert werden. Bei den verschiedenen Verfahren wird jeweils nur ein Bruchteil aller Fahrten auf einem Streckenabschnitt erfasst. Bei Fahrtzeitmessungen mithilfe von Bluetooth-Scannern sind dies beispielsweise nur die Fahrzeuge, in denen ein aktiviertes und zur Erkennung freigegebenes Bluetooth-Gerät mitgeführt wird. Besonders in verkehrsschwachen Zeiten gibt es dementsprechend eine geringe Anzahl an Detektionen, wodurch die statistische Belastbarkeit der abgeleiteten Aussagen eingeschränkt ist, wobei Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen in Folge von Störungen durch Kapazitätsüberschreitungen in diesen Zeiträumen von geringer Bedeutung sind. Beim Verfahren zur Bestimmung der Fahrtzeit mit Bluetooth-Scannern besteht weiterhin die Einschränkung, dass Lkw erfahrungsgemäß häufiger ein aktiviertes Bluetooth-Gerät mitführen und dementsprechend in der Stichprobe

überrepräsentiert sind [LISTL et al. 2019]. Dies führt vor allem in Situationen ohne vorliegende Störung zu einer Überschätzung der Fahrzeit. Falls dies im Steuerungsmodell einer NBA unberücksichtigt bleibt, kann es zu Fehlinterpretationen und in Folge zur Ausweisung eines vermeintlichen, jedoch nicht vorhandenen Störfalles führen.

Bei der Prognose hat neben der Genauigkeit bei der Messung der Verkehrsdaten das verwendete Prognoseverfahren einen erheblichen Einfluss auf die Datenqualität der Ergebniswerte. Eine Prognose, in der historische Daten verwendet werden, kann nur dann ein treffendes Ergebnis liefern, wenn in diesen historischen Datensätzen wenigstens eine dem aktuellen Verkehrsgeschehen ähnliche Situation aufgezeichnet wurde und dies entsprechend erkannt wurde [FGSV 2012 c]. Wird im Falle einer Sondersituation für die Prognose eine unpassende Ganglinie verwendet, weil beispielsweise keine aufgezeichneten Daten zu einer vergleichbaren Situation vorliegen, leidet die Qualität der Prognose. Dieses Problem stellt sich vor allem zu Beginn der Betriebsphase einer NBA bei der Prognose des Verkehrsablaufes während eines Steuerungseingriffes dar.

Bei der Prognose der Verkehrsdaten, die als Eingangsdaten für das Steuerungsmodell dienen, ist darauf zu achten, dass mögliche Effekte jedes denkbaren Steuerungseingriffes abgebildet werden. Der direkte Effekt eines Steuerungseingriffes einer NBA endet, sobald das letzte beeinflusste Fahrzeug das Ende der Netzmasche (auf Normal- und Alternativroute) erreicht hat [MARZ 2018]. In großen Netzmaschen wird der hierfür erforderliche Prognosehorizont entsprechend groß. Zur Verbesserung der Prognose kann es deshalb speziell in großen Netzmaschen sinnvoll sein, zusätzlich Umfelddaten zu berücksichtigen, da diese Einfluss auf den Verkehrsfluss haben können [FGSV 2019].

Hinweise zum technisch-wirtschaftlich sinnvollen Aufbau einer netzbezogenen Datenerfassungsinfrastruktur mit Überlagerung mehrerer Anwendungsfelder, die für eine Online-Verkehrsbeeinflussung als auch für die Wirksamkeitsanalyse geeignet ist, enthält der „Leitfaden zur flächendeckenden Erfassung verkehrsrelevanter Online-Daten und Ereignisse durch die öffentliche Hand“ [KÖLLE et al. 2015]. Hier wurden auch Mindestanforderungen für netzbezogene Datenerfassungssysteme für Online-Anwendungen und deren Wirksamkeitsbeurteilung definiert sowie Empfehlungen für eine betreiberübergreifende Planung und Beschaffung formuliert. Darauf aufbauend wurde ein „Qualitätsmanagementsystem für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste“ entwickelt [HEINRICH et al. 2018]. Die Ergebnisse beider Forschungsvorhaben der BASt flossen in die aktuelle Version der „Hinweise zu Detektionstechnologien im Straßenverkehr“ [FGSV 2019] ein.

Neben der potenziell automatischen Steuerung basierend auf Messdaten zum Verkehrszustand und zu Fahrzeiten, sollte weiterhin die Möglichkeit gegeben sein, manuelle Steuerungseingriffe zu tätigen. Auslöser hierfür können sein:

- TMC-Meldungen,
- von den Landesmeldestellen gemeldete Ereignisse,
- Arbeitsstellen oder
- geplante Großereignisse.

Entsprechende Daten sind jedoch auch für eine automatische Steuerung relevant, da deren Berücksichtigung für eine akkurate Prognose des Verkehrsablaufes unerlässlich ist.

Für eine aktivierte Schaltung sind Mindestschaltzeiten zu berücksichtigen. Die Rücknahme eines Steuerungseingriffes ist grundsätzlich dann zu tätigen, wenn dies in Folge der Berechnung der Zielfunktion geboten ist [MARZ 2018]. Zudem ist bei der Rücknahme einer Schaltung sicherzustellen, dass für (möglichst) alle Verkehrsteilnehmenden die dynamischen Anzeigen mit den relevanten Fernzielen der Schaltung auf der Alternativroute erst mit einem zeitlichen Nachlauf umgeschaltet werden können, damit alle Verkehrsteilnehmenden bis zum Ende der Netzmasche geleitet werden (Einhaltung der Kontinuitätsregel). Die Dauer dieses zeitlichen Nachlaufes orientiert sich an der langsamsten angenommenen Fahrt vom Entscheidungspunkt bis zum Standort der jeweiligen Anzeige.

Anzeigehalte von NBA

Für die Steuerung einer NBA mit den zwischenzeitlich üblichen dWiSta- bzw. Vollmatrix-Anzeigen ergeben sich im Vergleich zu früher üblichen Anzeigekonzepten mit substitutiver/additiver Wechselwegweisung zusätzliche Anzeigemöglichkeiten, wodurch sich die Komplexität der Steuerung erhöht. Neben der reinen Routenempfehlung können so auch beliebige weitere Informationen, z. B. zum Auslöser der zugrundeliegenden Schaltung angegeben werden. Das ermöglicht ein zweistufiges Vorgehen zur Generierung von Anzeigen:

- Für Störfälle, die einen geringen negativen Effekt auf den Verkehrsfluss auf der Normalroute haben und keine Umleitung rechtfertigen, da sich bei einer Umfahrung weder für den einzelnen Nutzer noch für das Gesamtkollektiv ein Nutzen ergeben würde, soll ein Hinweis auf den Störfall angezeigt werden [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018]. Diese Informationsanzeigen ohne Umleitungsempfehlung sind behutsam einzusetzen, um einerseits eine unnötige Ablenkung der Fahrer durch Informationsüberflutung zu vermeiden [HARTZ / SCHMIDT 2005] und andererseits die Bedeutsamkeit von Anzeigen durch ihre Häufigkeit und geringe Signifikanz für die Verkehrsteilnehmenden nicht zu reduzieren. Weiterhin ist zu bedenken, dass Verkehrsteilnehmende, die auf der Normalroute verbleiben, glauben könnten die Richtigkeit der angezeigten Informationen (z. B. Störfallart, Stauausdehnung, Verlustzeiten) verifizieren zu können. Die Korrektheit der Anzeigehalte kann jedoch durch den Verkehrsteilnehmenden nicht explizit verifiziert werden, da sich der Zeitpunkt, zu dem er den Hinweis auf einen Störfall erhält, und der Zeitpunkt, zu dem der relevante Abschnitt befahren wird, unterscheiden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass derartig festgestellte Abweichungen das Vertrauen der betroffenen Verkehrsteilnehmenden in die Anzeigen von NBA reduzieren [HÜLSEMANN et al. 2009]. Um dieses Risiko zu minimieren, sollten nur abgesicherte Daten, die zudem für die Verkehrsteilnehmenden relevant sind, angezeigt werden. Es ist zu empfehlen, Fahrt- oder Verlustzeiten für eine Anzeige auf 5 Minuten-Schritte zu runden, da diese einerseits starken zufälligen Schwankungen unterworfen sind und andererseits mittels einer Prognose lediglich abgeschätzt werden können [HÜLSEMANN et al. 2009].
- Sollte in Folge eines Störfalles eine Umleitung angemessen sein – dies ist gegeben, wenn sich dadurch ein Nutzen für das System und den einzelnen Verkehrsteilnehmenden (System- bzw. Nutzeroptimum) ergibt – sollte eine von der Normalroute abweichende Routenempfehlung angezeigt werden.

Die Anzeige einer Umleitungsempfehlung zusammen mit Informationen zum auslösenden Ereignis führen zu einem höheren Befolgungsgrad als eine Umleitungsempfehlung ohne Zusatzinformationen [LISTL et al. 2015]. Dabei kann jedoch die Anzeige eines geringen Fahrtzeitgewinns, der sich durch den Wechsel auf die Alternativroute ergibt, sogar den entgegengesetzten Effekt haben [HÜLSEMANN et al. 2009]. Bei der Anzeige einer Umleitungsempfehlung ist zu berücksichtigen, dass das Vermögen zur Aufnahme von Informationen bei den Verkehrsteilnehmenden beim Vorbeifahren am Standort der dWiSta-Anzeige begrenzt ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass viele Verkehrsteilnehmende die gängigen Anzeigehalte einer dWiSta-Anzeige in der dafür zur Verfügung stehenden Zeit nicht vollständig richtig erfassen können [SIEGENER et al. 2005]. Diese Verkehrsteilnehmenden berücksichtigen die dann für sie unvollständige Anzeige nicht bei ihrer Routenwahl, wodurch der Befolgungsgrad der Anzeige reduziert wird. Zur Verständlichkeit der Anzeigehalte und zur Steigerung des Befolgungsgrades empfiehlt es sich, Texte, wenn möglich, durch allgemein bekannte Symbole/Piktogramme zu ersetzen [HARTZ / SCHMIDT 2005]. In besonderem Maße profitieren hiervon auch nicht deutschsprachige Verkehrsteilnehmende [ZACKOR et al. 2000].

Liegt auf der Normal- und Alternativroute zeitgleich jeweils eine Störung vor, so können bei Verwendung aktueller dWiSta-Anzeigen beide Störfälle angezeigt werden. Die Ausweisung einer Umleitungsempfehlung ist in diesem Fall nicht möglich.

Für die Darstellung von Inhalten auf dWiSta- bzw. Vollmatrix-Anzeigen gelten u. a. folgende Empfehlungen:

- Bei einer Anzeige sollen Informationen über Lage und Ausmaß der Störung auf der Normalroute enthalten sein [SIEGENER et al. 2005].
- Die Anzeige eines Störfalles soll in der Regel mit einer Umleitungsempfehlung verbunden sein [SIEGENER et al. 2005] (ca. 75 % der Fahrer erwarten zu einer Störfallanzeige zusätzlich eine Handlungsempfehlung [HARTZ / SCHMIDT 2005]).

- Eine angezeigte Umleitungsempfehlung soll den Verkehrsteilnehmenden in der Regel über das Autobahnnetz führen [SIEGENER et al. 2005]. Auch Umleitungen über das nachgeordnete Netz sind denkbar, falls dieses über die erforderliche Restkapazität verfügt [HARTZ / SCHMIDT 2005].
- Die Anzeigen werden nur im Rahmen der Netzbeeinflussung genutzt. Liegen keine Störungen im Netz vor, bleiben die Anzeigefelder dunkel [SIEGENER et al. 2005].

Anfänglich in den USA sowie auch in anderen Ländern weltweit hat sich die Anzeige von Fahrt- bzw. Verlustzeiten auf Wechseltextanzeigen etabliert und wird als positiv eingeschätzt [HÜLSEMANN et al. 2009]. Eine entsprechende Anzeige für Normal- und Alternativroute kann die einzelnen Verkehrsteilnehmenden bei ihrer Routenwahl unterstützen und die Akzeptanz für eine angezeigte Umleitungsempfehlung erhöhen. Sowohl Fahrt- als auch Verlustzeiten stellen für die Verkehrsteilnehmenden eine geeignetere Orientierungshilfe als die Staulänge dar [HÜLSEMANN et al. 2009].

In einigen NBA-Anwendungen wird die aktuelle Fahrtzeit auch über die Anzeige „Standardfahrtzeit + Verlustzeit“ an die Verkehrsteilnehmenden weitergegeben. Im Hinblick auf die Verwendung der Anzeigen für Störungen im Verkehrsablauf wird in diesem Zusammenhang die Anzeige einer Verlustzeit von „+ 0 Minuten“ zum Hinweis auf einen Verkehrszustand ohne Auffälligkeiten in der Praxis teilweise angewendet.

2.1.3 Vorgehensweisen zur Wirksamkeitsanalyse von NBA

Wesentliche Grundlage der Wirksamkeitsanalyse von NBA stellt in Deutschland das FGSV-Hinweispapier Heft 311 „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ [FGSV 2007] sowie der darauf aufbauenden Begleitforschung durch das Forschungsprojekt FE 03.0425/2007/IGB [BUSCH et al. 2009] dar. Hierbei werden unter anderem Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung (Ex Ante) und Wirksamkeitsberechnung (Ex Post) von Netzbeeinflussungsanlagen beschrieben. Die Verwendung dieser Verfahren ist zur Ermittlung des volkswirtschaftlichen Nutzens für die im Rahmen eines RE-Entwurfes durchzuführende Nutzen-Kosten-Analyse seit Einführung der Muster-Vorlage für den RE-Entwurf [BMVBS 2012] vorgeschrieben. In Ausnahmefällen sind andere Verfahren, z. B. Simulationen ergänzend zulässig.

Vorgehen nach FGSV-Heft 311

Bei der Wirksamkeitsschätzung für eine Verkehrsbeeinflussungsanlage werden jeweils die Nutzenkomponenten Verkehrssicherheit (auf Basis der Unfallkostensparnis) und Verkehrsfluss (unter Berücksichtigung von Zeitkosteneinsparungen) berechnet. Dabei erfolgt eine Monetarisierung der Nutzenkomponente Verkehrssicherheit über eine Abschätzung der durch einen Steuerungseingriff eingesparten Unfallkosten auf Basis von Unfallkostenraten im Bezug zur stündlichen Verkehrsstärke. Es wird unterstellt, dass in den fünf Tagesclustern

- Montag,
- Normalwerktag (Dienstag bis Donnerstag),
- Freitag,
- Samstag und
- Sonn- und Feiertag

jeweils ein charakteristisches Störfallmuster auf Normal- und Alternativroute die Auslösung eines Steuerungseingriffes zur Folge hat. Die verwendeten Funktionen zur Bestimmung der Unfallkostenraten wurden in [PÖPPEL-DECKER et al. 2003] festgelegt. Die stündliche Verkehrsstärke wird mithilfe des Durchschnittlichen Täglichen Verkehrs (DTV) auf den einzelnen Streckenabschnitten sowie durch die Nutzung einer für die gesamte Netzmasche repräsentative Referenzganglinie für jeden Tagescluster ermittelt.

In Bezug auf die Wirksamkeitsschätzung einer NBA steht lediglich ein Verfahren zur Berechnung der Nutzenkomponente Verkehrsfluss zur Verfügung; die Nutzenkomponente Verkehrssicherheit wird nicht berücksichtigt.

Als Eingangsgrößen bei der Berechnung werden die Verkehrsstärke des im jeweiligen Störfall beeinflussbaren Verkehrsstroms sowie der Befolungsgrad verwendet.

Zur Bestimmung der Anzahl beeinflussbarer Verkehrsteilnehmenden wird der Durchgangsverkehrsanteil herangezogen. Dieser beschreibt den Anteil der Fahrzeuge am Entscheidungspunkt der NBA, welche die beeinflusste Netzmasche komplett durchfahren und nicht im Verlauf der Normalroute abzweigen. Dieser Wert ist nicht pauschal festlegbar und variiert für jede Netzmasche. Eine Ermittlung des Durchgangsverkehrsanteils für eine Netzmasche ist beispielsweise mithilfe von ANPR-Kameras möglich.

Die Bestimmung des Befolungsgrades erfolgt gemäß FGSV-Hinweisepapier Heft 311 [FGSV 2007] in Abhängigkeit der Netzmaschengröße und des Umwegfaktors (siehe Tab. 2-1). Sofern keine anderen Informationen über den Befolungsgrad von Anzeigen der NBA vorliegen, werden für die Ermittlung jeweils Bandbreiten von 10 Prozentpunkten angegeben, aus denen bei NBA mit dWiSta jeweils das Maximum angenommen wird.

Charakteristik des Netzes	Maschengröße	Umwegfaktor	Befolungsgrad
kleine Masche, kurzer Umweg	< 50 km	< 1,5	30 – 40 %
große Masche, kurzer Umweg	> 50 km	< 1,5	20 – 30 %
kleine Masche, größerer Umweg	< 50 km	> 1,5	10 – 20 %
große Masche, größerer Umweg	> 50 km	> 1,5	0 – 10 %

Tab. 2-1 Befolungsgrade bei NBA
[FGSV 2007]

Für die Bewertung der Nutzenkomponente Verkehrsfluss wird die Fahrtzeit auf Normal- und Alternativroute ohne und mit Steuerungseingriff bestimmt und über gegebene Zeitkostensätze für die unterschiedlichen Fahrzeugklassen (Pkw und Lkw) monetarisiert. Grundlage der verwendeten Zeitkostensätze stellen die Vorgaben der „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen - EWS“ [FGSV 1997] bzw. betreiberspezifische Angaben dar. Die in der Netzmasche charakteristischen Störfallmuster werden dabei einzeln betrachtet. Die Fahrtgeschwindigkeit auf den einzelnen Streckenabschnitten wird mithilfe analytischer Methoden in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung und der Kapazität berechnet [ZACKOR 2001]. Für das Durchfahren der in Folge des Störfalles entstehenden Staus wird eine Staugeschwindigkeit von 30 km/h angenommen [BREITENSTEIN et al. 1980]. Durch einen angenommenen Steuerungseingriff verändert sich die Verkehrsbelastung auf Normalroute (Abnahme) und Alternativroute (Zunahme) und damit die kumulierte Fahrtzeit in der Netzmasche.

Der berücksichtigte Effekt des Steuerungseingriffes auf das Ausmaß des Störfalles beschränkt sich lediglich auf die Abnahme der Anzahl der von der Störung betroffenen Fahrzeuge. Dauer und Länge des Störfalles werden als feste Größen angenommen. Zusätzlich zu den Auswirkungen auf die Fahrtzeit wird der Effekt eines Steuerungseingriffes auf die Fahrzeugbetriebskosten berücksichtigt, der sich durch eine geänderte Fahrleistung in der Netzmasche ergibt und damit geänderte Grundbetriebskosten und einen geänderten Kraftstoffverbrauch hervorruft. Die Umwandlung in einen monetarisierten Nutzen erfolgt über entsprechende Kostensätze gemäß EWS [FGSV 1997].

Bei der Wirksamkeitsberechnung wird für alle Typen von Verkehrsbeeinflussungsanlagen das gleiche Verfahren verwendet. Hierbei werden wiederum die beiden Nutzenkomponenten Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss betrachtet.

Für die Nutzenkomponente Verkehrssicherheit werden in einem Vorher-Nachher-Vergleich die Unfalldaten und die daraus resultierenden Unfallkosten gegenübergestellt (Verwendung der Unfallkostensätze nach den „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen - ESN“ [FGSV 2003 a]). Parallel dazu wird anhand von Unfalldaten für das gesamte Bundesland der regionale Trend für den gleichen Zeitraum bezüglich der Unfallkosten ermittelt und dieser aus der Entwicklung der Unfallkosten im Einflussbereich der NBA herausgerechnet. Betrachtet wird dabei jeweils ein Zeitraum von 3 Jahren vor Inbetriebnahme der Anlage und ein Zeitraum von 3 Jahren, der frühestens nach einer ca. 3-monatigen Gewöhnungsphase ab Inbetriebnahme beginnt.

Der erzielte Nutzen bezüglich des Verkehrsflusses ergibt sich aus den Effekten der NBA auf die Anzahl der verkehrsbedingten und der unfallbedingten Staustunden im Einflussbereich der Anlage. Unter der Annahme, dass der primäre Zweck einer NBA nicht darin liegt, die Anzahl und Schwere von Unfällen zu reduzieren, wird der Teilaspekt „unfallbedingte Staustunden“ in der Ermittlung der Wirkung auf die Zeitkosten nicht berücksichtigt. Die Anzahl der verkehrsbedingten Staustunden wird auf Basis von Stau- und Störungsdaten (im Wesentlichen auf Basis der Informationen der Landesmeldestelle) und der Gesamtstaudauer für das gesamte Bundesland (Vorher- und Nachher-Zeitraum jeweils 1 Jahr) bestimmt. Die Anzahl

der von den einzelnen Störfällen betroffenen Fahrzeugen wird anhand der Störfalldauer und der Kapazität der jeweiligen Engstelle ermittelt und mit der Dauer der Störfälle multipliziert. Damit ein direkter Vergleich der Vorher- und Nachher-Daten möglich ist, werden die Vorher-Daten noch entsprechend dem regionalen Trend bezüglich der Gesamtstaudauer des Bundeslandes hochgerechnet. Das Ergebnis für die Nutzenkomponente Verkehrsfluss wird angegeben in Stunden pro Jahr.

Um die Aussagekraft des Vorher-Nachher-Vergleiches für die Wirksamkeitsberechnung zu maximieren, ist es wünschenswert, dass die Daten zum Vorher-Zeitraum eine vergleichbare Qualität wie die Daten zum Nachher-Zeitraum aufweisen.

Das Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung für NBA nach dem FGSV-Hinweispapier Heft 311 [FGSV 2007] wurde für die Komponente Zeitkosten in einem halbautomatischen Simulationsprogramm (Quantkap - Quantifizierung von kapazitätsbedingten Stauwirkungen) softwaretechnisch umgesetzt. Der Kern des Programms ist ein parametrisierbares streckenbezogenes makroskopisches Verkehrsflussmodell mit dem durch Gegenüberstellung von Kapazität und Nachfrage kritische Fahrleistungen, Staulängen und Staudauern, Fahrzeitverluste gegenüber einer Referenzgeschwindigkeit, Staukosten berechnet werden können (Grundlagen siehe [LISTL et al. 2007]).

Quantkap berechnet die Kapazität gemäß dem „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS) [FGSV 2015]. Für Kapazitätseinschränkungen durch Arbeitsstellen kürzerer und längere Dauer und durch Unfälle oder Pannen werden Korrekturfaktoren verwendet (siehe OBER-SUNDERMEIER 2003, BÄUMER 2002, BRILON / ZURLINDEN 2003). Die Kapazitäten von Streckenbeeinflussungsanlagen werden im Programm gemäß dem HBS und bei temporärer Nutzung des Seitenstreifens auf den Berechnungsgrundlagen von ARNOLD (2001) angesetzt. Die Modellierung der Verkehrsnachfrage basiert auf individuellen Ganglinien oder typisierten Jahres-, Wochen- und Tagesganglinien. Für eine Ganzjahresanalyse des Verkehrsablaufs werden bei der Verwendung typisierter Ganglinien stochastische Schwankungen der Verkehrsnachfrage durch Ersatz der stündlichen Erwartungswerte durch eine Normalverteilung berücksichtigt. Durch Gegenüberstellung von Kapazität und Verkehrsbelastung werden mit dem makroskopischen Verkehrsflussmodell nach LIGHTHILL / WITHAM (1995) der Verkehrsablauf und insbesondere die zeitliche und räumliche Entwicklung der Staus an den Engpässen im zu beeinflussenden Autobahnnetz ohne NBA (Ohne-Fall) modelliert und simuliert.

Zur Ermittlung des erzielbaren Nutzens einer NBA werden für zu definierende Störfallszenarien (Überlastung, Arbeitsstelle, Unfall auf der/den Normalroute(n)) die Verkehrsanteile ermittelt, die bei Stau auf der Normalroute von der/den zugehörige(n) Alternativroute(n) bis zu einem Auslastungsgrad von 90 % aufgenommen werden können. Dazu werden gemäß FGSV-Hinweispapier Heft 311 [FGSV 2007] zunächst die maßgebenden Restkapazitäten auf der/den Alternativroute(n) ermittelt. Das szenariospezifische Beeinflussungspotenzial wird aus der Verkehrsmenge, die eine Route zwischen Entscheidungs- und Zielpunkt durchfährt, berechnet. Hierzu ist die Bereitstellung von Quelle-Ziel-Matrizen aus einem netzbezogenen Verkehrsmodell für die Berechnung notwendig. Die tatsächlich umgeleitete Verkehrsmenge ergibt sich aus der beeinflussbaren Verkehrsmenge und dem gewählten Befolungsgrad unter Berücksichtigung der Restkapazität auf der/den Alternativroute(n). Normal- und Alternativroute(n) werden mit den durch die NBA veränderten Verkehrsmengen erneut simuliert (Mit-Fall). Die überlastungsbedingten, arbeitsstellenbedingten und unfallbedingten Fahrzeitverluste und die, unter Ansatz von Stundensätzen für Pkw und Lkw, ermittelten Staukosten werden gegenübergestellt. Schließlich wird der jährliche monetarisierte Gesamtnutzen aus Fahrzeitveränderungen ermittelt.

Das beschriebene Verfahren und Programm Quantkap wird regelmäßig zur Nutzenermittlung im Rahmen von RE-Vorentwürfen für Netzbeeinflussungsanlagen eingesetzt.

Weitere Ansätze zur Wirksamkeitsanalyse

Für die Bewertung des Nutzens einer NBA liegen neben dem im FGSV-Hinweispapier Heft 311 [FGSV 2007] beschriebenen Vorgehen zur Wirksamkeitsschätzung bzw. -berechnung in der Literatur weitere Überlegungen vor, die bei einer Überarbeitung des Verfahrens zu bedenken sind.

Neben der Verringerung von Fahrzeit, Fahrzeugbetriebskosten und Unfallkosten werden in der Literatur folgende weitere Aspekte benannt, welche Eingang in die Wirksamkeitsschätzung und -berechnung finden sollten [HAMPE et al. 1981, ZACKOR et al. 1985, ZACKOR et al. 2000, BALMBERGER et al. 2014]:

- Verringerung der Lärm- und Schadstoffemissionen

- Verringerung des Kraftstoffverbrauches
- Erhöhung des Fahrkomforts
- Verringerung des Flächenverbrauchs im Straßenbau
- Aufgrund der Datenerfassung bessere Datengrundlage für zukünftige Planungen

Auf eine Berücksichtigung dieser Nutzenkomponenten bei der Bewertung einer NBA wird im aktuell verwendeten Verfahren des FGSV-Hinweispapier Heft 311 [FGSV 2007] aus folgenden Gründen verzichtet:

- (1) der jeweils erzielte Nutzen lässt sich nur schwer quantifizieren,
- (2) der zu erwartende Nutzen wird grundsätzlich als vernachlässigbar eingestuft oder
- (3) die zur Berechnung erforderlichen Daten liegen im Allgemeinen nicht vor.

Sofern die erforderlichen Eingangsdaten zwar vorliegen, jedoch die Datenqualität üblicherweise gering ist, sollten die daraus berechneten Nutzenkomponenten bei dem Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung/-berechnung nicht berücksichtigt werden, da die Ungenauigkeit bei der Ermittlung einer Nutzenkomponente ebenfalls zu einer Ungenauigkeit des Endergebnisses der gesamten Wirksamkeitsschätzung/-berechnung führt [RIEKEN et al. 2015].

Nach [FGSV 1982] wurde davon ausgegangen, dass sich der Fahrtzeitgewinn einzelner Verkehrsteilnehmenden von weniger als 5 min/Fahrt oder 10 s/km nicht in volkswirtschaftlichen Nutzen umsetzen lässt. Einerseits wurde jedoch diese Annahme verworfen und andererseits ist es zur Berücksichtigung dieser Annahme erforderlich, den Fahrtzeitgewinn jedes einzelnen Verkehrsteilnehmenden zu ermitteln [ZACKOR et al. 1985].

Bei der Einbeziehung unterschiedlichster Nutzenkomponenten ist jeweils kritisch zu hinterfragen, ob es sinnvoll ist, auch die bei der Monetarisierung für eine Wirksamkeitsschätzung verwendeten Kostensätze zu prognostizieren, d. h. voraussichtliche Änderungen der Kostensätze bis zum Prognosezeitpunkt/-zeitraum zu berücksichtigen. Dabei stellt sich zudem die Frage, welcher Bezugszeitpunkt für die mit der Zeit veränderlichen Kostensätze dann gewählt werden sollte: Der Mittelwert der Kostensätze über den Betrachtungszeitraum oder die Kostensätze zum Anfang bzw. zum Ende des Betrachtungszeitraumes. Eine derartige Prognose stellt eine weitere Fehlerquelle im Berechnungsvorgehen dar. Aus diesem Grund sollte dies nur dann berücksichtigt werden, wenn von signifikanten Änderungen im Vergleich zum Bestand auszugehen ist [RIEKEN et al. 2015]. Diese Einschätzung kann getrennt für die einzelnen Nutzenkomponenten erfolgen. Im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse sollten, falls ein Großteil des Nutzens mithilfe von prognostizierten Kostensätzen ermittelt wurde, auch die Weiterentwicklung der Kosten entsprechend prognostiziert werden.

Mit dem Befolgungsgrad geht ein Parameter mit großem quantitativem Einfluss auf die Ergebnisse in die Berechnung gemäß FGSV-Hinweispapier Heft 311 [FGSV 2007] ein. Im beschriebenen Verfahren sind jedoch keine Vorgaben zur exakten Ermittlung des Befolgungsgrades enthalten. Da lediglich eine Bandbreite von 10 Prozentpunkten gegeben wird, aus der ein Wert frei gewählt werden kann, unterliegt das Ergebnis starken Einflüssen der subjektiven Entscheidung des Anwenders. Daher wird empfohlen, vor allem bei Projekten, für die ein Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) = 1 berechnet wurde, eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen [RIEKEN et al. 2015], um unter anderem den Einfluss des gewählten Wertes für den Befolgungsgrad auf das Berechnungsergebnis der Wirksamkeitsschätzung richtig einordnen zu können.

Ein weiterer Ansatz zur Berechnung der Wirksamkeit von einzelnen Steuerungseingriffen und des Gesamtsystems einer NBA (als Summe aller Steuerungseingriffe) wird in [BECKROTH et al. 2010] beschrieben. Dafür wird während des Betriebs auf Basis von querschnittsbezogenen Messwerten die Fahrtzeit auf Normal- und Alternativrouten modelliert. Nach Deaktivierung einer Schaltung erfolgt eine Bewertung der Wirksamkeit anhand der Nutzenkomponenten Fahrtzeit, Betriebskosten und Klima. Durch einen Vergleich der gemessenen Verkehrsbelastung an einem zuvor definierten Querschnitt mit der Referenzganglinie für diesen Querschnitt wird die Anzahl umgeleiteter Fahrzeuge abgeleitet. Für das so bestimmte Fahrzeugkollektiv wird anhand der Fahrtzeitdifferenz auf Haupt- und Alternativroute sowie der aus der Fahrtzeit abgeleiteten mittleren Geschwindigkeit auf den einzelnen Streckenabschnitten der Haupt- und Alternativroute der erzielte Nutzen ermittelt. Der Nutzen bezüglich Betriebskosten und Klima wird jeweils mit einer geschwindigkeitsabhängigen und -unabhängigen Komponente abgebildet. Dabei ist theoretisch auch eine Unterscheidung nach Fahrzeuggruppen (bspw. Pkw und Lkw) möglich.

Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen ex-ante- und ex-post-Analyse zu ermöglichen und so auch die Validität der ex-ante getroffenen Annahmen zu ermitteln, ist anzustreben, für Wirksamkeitsschätzung und -berechnung das gleiche Verfahren zu verwenden (Nutzen-Kosten-Analyse, Nutzwertanalyse oder Kosten-Wirksamkeits-Analyse) [FGSV 2012 b].

2.1.4 Erkenntnisse aus der Anwendung und Erfahrungswerte aus der Praxis

In der Literatur liegen nur vereinzelt Erkenntnisse zur Wirkung von NBA vor. Im Wesentlichen werden Wirksamkeitsuntersuchungen im Zusammenhang mit Planung und Entwurf von NBA angestellt.

Erste Erfahrungen mit den Long Distance Corridoren (LDC) Süd und West in JAKOBY /BECKROTH 2010 zeigen, dass die verkehrliche Wirkung und der finanzielle Nutzen stark von der Lage des Entscheidungspunktes im überregionalen Netz abhängig sind. Das Beeinflussungspotenzial ist bei Umleitungsempfehlungen mit geringem Umwegfaktor höher. Als wichtigste Faktoren für den Nutzen der NBA werden Situationen mit kurzen Alternativrouten und großen Staulängen benannt; lange Alternativrouten und kurze Staulängen auf der Normalroute hingegen rufen einen negativen Nutzen hervor. Die Ergebnisse der Untersuchungen von JAKOBY /BECKROTH 2010 sind in Tab. 2-2 zusammengefasst. Im Rahmen der ersten Pilotphase der LDC wurde ein gemeinsames Verständnis zu notwendigen Netzbeeinflussungsmaßnahmen etabliert und die Abstimmung von einheitlichen Strategien und Maßnahmen ermöglicht. Vor allem bei schwerwiegenden Störfällen (zumeist Lkw-Unfälle in Verbindung mit lang andauernden Sperrungen und Staus) konnten neue Beeinflussungsmöglichkeiten durch betreiberübergreifende Maßnahmen schneller und besser koordiniert umgesetzt werden als vor Einführung der LDC [RIEGELHUTH 2009].

Untersuchungsgegenstand	Entscheidungspunkt	Beeinflussungspotenzial	Befolgungsgrad	Ermittelter Nutzen
LDC West Fahrtrichtung Nord Strategieauslösung bei Staulänge ≥ 8 km oder Vollsperrung 11 untersuchte Störfälle	A3 AK Wiesbadener Kreuz Fahrtrichtung Nord	bei geringen Staulängen (< 8 km) → max. 10 % bei Staulängen 18 – 20 km → bis zu 30 %	generell sehr hoch mit großen Schwankungen	Gesamtnutzen: 7.600 Kfz umgelegt 57.000 € für 3 Störfälle verteilt auf die Komponenten: 95 % Fahrtzeiten, 2 % Betriebskosten, 3 % Klimabelastung
	A3 AD Mönchhofdreieck Fahrtrichtung Nord	15 % bzw. 24 % nur Einzelfälle betrachtet		
	A67 AD Rüsselsheim Fahrtrichtung Nord	8 % bis 10 % geringes Potenzial		
LDC Süd Fahrtrichtung Süd Strategieauslösung bei Staulänge ≥ 10 km oder Vollsperrung 17 untersuchte Störfälle	A3 AK Frankfurter Kreuz Fahrtrichtung Süd	sehr gering (< 1 %) → nur regionale Verkehr in Richtung Nürnberg / München	generell sehr hoch mit großen Schwankungen	Gesamtnutzen: 12.700 Kfz umgelegt 101.000 € für 17 Störfälle verteilt auf die Komponenten: 82 % Fahrtzeiten, 14 % Betriebskosten, 4 % Klimabelastung
	A67 AD Rüsselsheim Fahrtrichtung Süd	sehr gering (< 1 %) → nur regionale Verkehr in Richtung Nürnberg / München		
	A3 AD Mönchhofdreieck Fahrtrichtung Süd	durchschnittlich 18 %	durchschnittlich 65 %	

Tab. 2-2 Ergebnisse Wirksamkeit LDC West und Süd
(Darstellung nach JAKOBY / BECKROTH 2010)

Für die NBA AK Biebelried – AK Nürnberg (A3 / A7-A6) wurden in RANK 2018 durch einen Vergleich der Verkehrsbelastungen zwischen Schalttagen der NBA mit Vergleichstagen (Tage mit gleicher Verkehrsnachfrage sowie gleichem Verkehrskollektiv und ähnlichen Witterungsbedingungen) die Einflüsse der NBA-Schaltungen auf den Befolgungsgrad untersucht. Durch die Anwendung des Verfahrens von WERMUTH / WULF 2007 auf alle Schaltungen der Evaluierungsphase (19 Schaltungen) wurde ein mittlerer Befolgungsgrad von ca. 17 % ermittelt, welcher einer zusätzlichen Anzahl von 3,6 Kfz/min auf der relevanten Rampe im AK Biebelried entspricht. Qualität und Korrektheit der Schaltung stellen ausschlaggebende Faktoren dar. Für Fälle mit korrekter Schaltung (Schaltungsbeginn und Schaltungsende zeitnah zum störungsauslösenden Ereignis mit entsprechendem Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute) lässt sich ein Befolgungsgrad von bis zu 25,9 % nachweisen. Mit steigendem Störungszeitraum steigt auch der Zeitraum zur Informationsverbreitung über alternative Kanäle. Wesentliche Erkenntnis der Untersuchung ist, dass das Zusammenspiel vieler unterschiedlicher Medien (Rundfunk, Navigationssysteme, Wechselwegweisungs-

anlage) gute Ergebnisse bezüglich des erzielbaren Befolgungsgrades hervorbringt (25,9 % Befolgungsgrad bei korrekten Schaltungen gegenüber 4,2 % Befolgungsgrad bei Störfällen ohne Schaltung der NBA - selbstregelnde Störfälle).

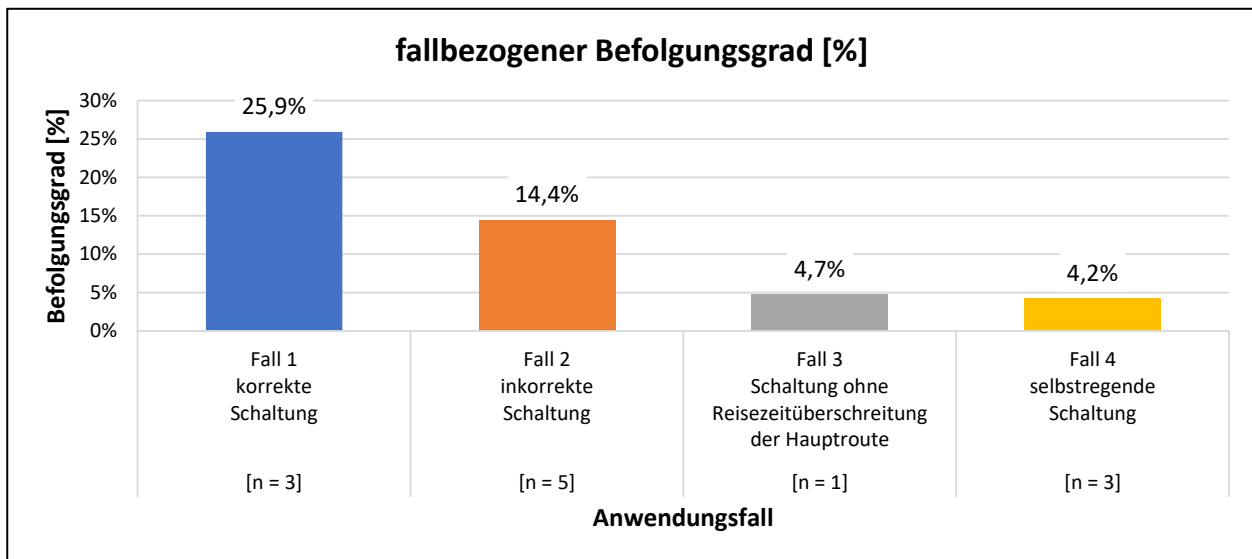


Bild 2-2 Befolgungsgrade am AK Biebelried
(Darstellung in Anlehnung an [RANK 2018])

Für die NBA in Nordrhein-Westfalen sind in Untersuchungen von GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018 für beispielhafte Netzmaschen die Verlagerungswirkungen durch Störungsanzeigen ohne Umleitungsempfehlung analysiert worden. Die Ermittlung des Befolgungsgrades (als Indikator der Verlagerungswirkung) erfolgte, sofern für den betrachteten Entscheidungspunkt Eingangsdaten der Rampenverkehrsstärken vorlagen, auf Basis des Berechnungsverfahrens von WERMUTH / WULF 2007. Alternativ wurde ein Verfahren zur Ermittlung der relativen Belastungsänderung unter Verwendung der Verkehrsdaten der Zu- und Abflüsse (Hauptfahrbahn) am Entscheidungspunkt genutzt. Es zeigt sich, dass bereits positive Verlagerungswirkungen bei der Anzeige von Stauinformationen (ohne Umleitungsempfehlung) auf dWiSta-Anzeigen in einer Größenordnung von im Mittel 1 % bis 8 % nachgewiesen werden konnten (siehe Tab. 2-3).

Netzbereich	Entscheidungspunkt	Untersuchungsumfang	Mittlere Belastungsänderung
AD Bottrop – AK Schütteldorf – AK Lotte/Osnabrück – AK Kamen	A2 AD Bottrop Fahrtrichtung Ost	17 Schaltungen	1 %
AK Neuss-Süd – AK Meerbusch – AD Ratingen-Ost – AK Hilden	A57 AK Neuss-Süd Fahrtrichtung Nord	109 Schaltungen	5 %
AK Wuppertal-Nord – AK Westerhofer Kreuz – AD Dortmund-Witten – AD Bochum/Witten	A1 AK Wuppertal-Nord Fahrtrichtung Nord	29 Schaltungen	8 %
AK Kamen – AK Münster-Süd – AK Recklinghausen	A2 AK Kamen Fahrtrichtung West	19 Schaltungen	2 %
AK Bochum – AK Dortmund-West – AK Castrop-Rauxel – AK Herne	A43 AK Bochum Fahrtrichtung Nord	67 Schaltungen	5 %

Tab. 2-3 Ergebnisse Wirksamkeitsuntersuchung von Störungsinformationsanzeigen in BAB-Netz Nordrhein-Westfalens
[GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018]

In der Untersuchung von LISTL et al. 2019 wurden umfangreiche empirische Analysen für das BMVI und die BASt zum Vergleich lokaler und Bluetooth-basierter streckenbezogener Datenerfassung für die Netzbeeinflussung durchgeführt. Somit liegen detaillierte Erkenntnisse zur Nutzung von Bluetooth-Scannern zur Generierung streckenbezogener Verkehrsdaten (wie z. B. Fahrtzeiten, Fahrtgeschwindigkeiten oder auch Verlustzeiten) vor. Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer Kombination aus Bluetooth-Scannern und einem zusätzlichen lokalen Messquerschnitt je Streckenabschnitt an der maßgebenden Engstelle eine qualitativ sehr hochwertige und wirtschaftliche fahrtzeitbasierte Netzbeeinflussung bei Berücksichtigung von Kapazitätsreserven sowie eine Wirksamkeitsanalyse möglich sind. Eine Bluetooth-basierte Datenerfassung mit

nachgelagerter Datenaufbereitung ermöglicht eine zuverlässige Erfassung von Fahrtzeiten mit einem mindestens vergleichbaren Qualitätsniveau, verglichen mit der Stauerkennung auf Basis lokaler Datenerfassung mit Stauerkennungsalgorithmus in einer Streckenbeeinflussungsanlage.

2.2 Netzbeeinflussung in der Praxis

Im Zeitraum Juli bis September 2020 wurden mit Vertretenden der Straßenbauverwaltung bei verschiedenen Bundesländern, die zum Zeitpunkt der Befragung für Planung, Bau und Betrieb von NBA auf Autobahnen als Auftragsverwaltung des Bundes verantwortlich waren, Experteninterviews im Kontext des Projektes durchgeführt. Die Aufgabenfelder der Gesprächspartner in den Experteninterviews umfassen dabei sowohl den Bereich Konzeption / Planung als auch den Bereich Operating / Betrieb von NBA. Im Einzelnen wurden mit Vertretenden der folgenden Bundesländer Experteninterviews durchgeführt:

- Baden-Württemberg
- Bayern (getrennt für Nordbayern und Südbayern)
- Hansestadt Bremen
- Hessen
- Freie und Hansestadt Hamburg
- Nordrhein-Westfalen
- Rheinland-Pfalz
- Schleswig-Holstein
- Thüringen

Die Fragenkomplexe umfassten zum einen allgemeine Fragen zum Thema Netzbeeinflussung sowie spezifische Fragen zu den tatsächlich im Einsatz befindlichen Netzbeeinflussungsanlagen und allgemeine Fragen zur Wirksamkeitsanalyse im Kontext von NBA. Im Einzelnen wurden in den Interviews folgende Themenbereiche adressiert:

- Vorgehen zur Definition von Netzmaschen bzw. zur Netzmaschenanalyse
- Prinzip der Situationsanalyse
- Vorgehen bei der Maßnahmendefinition
- Wirksamkeitsanalyse

Durch die Neugründung der Autobahn GmbH des Bundes ab 01.01.2021 und der Überführung der Verantwortlichkeiten für die Verkehrssteuerung und -beeinflussung auf den Autobahnen von den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer in die Niederlassungen der Autobahn GmbH des Bundes beziehen sich die Aussagen aus den Experteninterviews zu den o.g. Punkten auf die Vorgehensweisen vor der Umstrukturierung.

In den folgenden Kapiteln 2.2.1 und 2.2.2 werden die Erkenntnisse aus den durchgeführten Interviews zusammenfassend dargestellt.

In der Anlage 1 ist der Umfang der NBA im Autobahnnetz dargestellt, der mit den Experteninterviews abgedeckt ist. Die Darstellungen umfassen die Entscheidungspunkte und Netzbereiche, die durch eine NBA beeinflussbar sind. Dabei werden NBA in Betrieb und Planung sowie, sofern Informationen vorliegend, im Bau und der RE-Vorentwurfsphase aufgeführt. Weitergehende Anwendungen der Anzeigekomponenten an den Entscheidungspunkten (im Rahmen der LDC oder auch der länderübergreifenden, internationalen Netzbeeinflussungen werden jeweils auf den einzelnen Blättern der Anlage 1 dann nur informell erwähnt, aber in den graphischen Darstellungen nicht aufgenommen.

2.2.1 Grundlagen für den Einsatz der Netzbeeinflussung

Zielsetzung

Mit einer NBA werden in den Bundesländern weitestgehend deckungsgleiche Ziele verfolgt. So dient die NBA vorrangig dazu, in Netzmaschen auf Störungen im Zuge einer Normalroute zu reagieren und Verkehrsteilnehmende in diesen Fällen eine Alternativroute in der Netzmasche anzubieten. Negative Auswirkungen auf den Verkehrsablauf (insbesondere auf die Fahrtzeiten) und auf die Verkehrssicherheit, die sich aus temporären Überlastungen auf der Normalroute ergeben würden, wenn auf die Netzbeeinflussung verzichtet wird, sollen durch den Einsatz der NBA vermindert werden. Dabei wird häufig auf bereits eingetretene Störungen (durch Stauereignisse) reagiert. Eine begleitende Netzbeeinflussung zu wiederkehrenden und damit vorhersehbaren verkehrsbedingten Störungen auf der Normalroute im Sinne einer proaktiven Beeinflussung wird derzeit nur selten angewendet, wäre aber in einzelnen Netzbereichen nach Auffassung der Interviewpartner sinnvoll.

Auch der negative Einfluss planbarer Kapazitätseinschränkungen auf der Normalroute durch Arbeitsstellen kann mit Unterstützung der NBA vermindert werden. Dies gilt nach Auffassung einiger Interviewpartner insbesondere auch dann, wenn es sich um Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) handelt (bspw. bei der Instandsetzung oder dem Neubau von Brücken- oder Tunnelbauwerken) und sich die Verkehrsverhältnisse über den Tagesverlauf regelmäßig verändern. Gegenüber einer reinen statischen Umleitungsbeschilderung mit Verweis auf Alternativrouten kann die aktuelle Verkehrssituation besser berücksichtigt werden. Zudem wird durch eine Reihe von Interviewpartnern darauf hingewiesen, dass durch die Bereitstellung der Informationen über eine Störung (unabhängig von der tatsächlichen Ausweisung einer Alternativroute) eine weitere Wirkungskomponente der NBA entsteht. Die Verkehrsteilnehmenden bewegen sich mit dem Wissen über die Störung (hervorgerufen durch hohes Verkehrsaufkommen oder durch Baustelle oder Unfall) auf der Normalroute hier dann auch aufmerksamer auf den relevanten Bereich mit der Störung zu. Durch den inzwischen nahezu ausschließlichen Einsatz von dWiSta-Anzeigesystemen in der NBA (gegenüber substitutiven Wegweiserkonzepten in der Blaubeschilderung) werden weitergehende Informationen an die Verkehrsteilnehmenden übermittelt, indem nicht nur im Falle einer Netzbeeinflussung eine Alternativroute ausgewiesen wird, sondern indem auch zusätzlich über die Ursache für diese geänderte Routenführung informiert wird. Durch die Informationen zum Ort einer Störung („auf A XX hinter AS YY“) werden die Verkehrsteilnehmende demnach aufmerksamer den folgenden Streckenabschnitt befahren, wobei die Distanz vom Ort der Informationsübermittlung (Entscheidungspunkt in der Netzmasche) bis zum Ort der Störung nach Auffassung der Interviewpartner Einfluss auf das Maß der Aufmerksamkeitserhöhung haben wird. Zudem wird bei dWiSta-Anzeigesystemen auch erreicht, dass Verkehrsteilnehmende, deren Ziel im Zuge der eigentlichen Normalroute liegt, entscheiden können, ob sie mit Kenntnis der Informationen zum Ort der Störung ihre geplante Route beibehalten oder aber die Fahrt auf einen anderen Anreiseweg zum Ziel verlagern. Mit den früher üblichen substitutiven Wechselwegweisern auf Basis von Prismenwendertechnik können diese erweiterten Wirkungskomponenten in der NBA nicht genutzt werden. Auf diesen Umstand wird in den Experteninterviews regelmäßig hingewiesen. Es wird auch darauf verwiesen, dass dieser Einfluss auf das Verhalten von Verkehrsteilnehmenden in den bisherigen Verfahrensweisen zur Wirksamkeits-schätzung und -analyse noch unberücksichtigt bleibt.

Ausgehend von den ersten Anwendungen zur Netzbeeinflussung (als Insellösungen im Autobahnnetz) haben sich mit der wachsenden Anzahl von NBA diese Insellösungen sukzessive angenähert und sind durch weitergehende Ergänzungen teilweise miteinander verflochten. Waren Netzbeeinflussungen also zu Beginn auf bestimmte Einflussbereiche beschränkt, wachsen sie jetzt zunehmend zusammen oder überlagern sich auch bereits unter Beachtung der jeweils verfolgten Strategien. Eine Vereinheitlichung der Netzbeeinflussung insbesondere in Bezug auf die Kommunikation von Informationen an den betroffenen Verkehrsteilnehmenden, aber auch in Bezug auf die Analyse von Daten zur Ableitung von Maßnahmen wird somit immer bedeutsamer.

Grundlage–1: Infrastruktur - Definition der Netzmaschen

Netzmaschen umfassen einen Bereich im Autobahnnetz zwischen einem Entscheidungspunkt (Autobahnkreuz oder Autobahndreieck), an dem auf eine Alternativroute gewechselt werden kann, und dem Knotenpunkt im Autobahnnetz, an dem Normalroute und Alternativroute wieder zusammentreffen.

Bei der Planung / Konzeption ist das Verfahren zur Bestimmung einer Netzmasche für die NBA geprägt durch die Analyse von fahrtzeitbeeinflussenden Störungen (in Form von Stauereignissen) und durch die Analyse des Unfallgeschehens auf einem Netzabschnitt, über die auch eine Alternativroute ausgewiesen werden kann. Weiterhin wird auch der Anteil des Verkehrsaufkommens, der durch eine Ausweisung einer Alternativroute prinzipiell beeinflusst werden kann (Beeinflussungspotenzial) als maßgeblich angesehen. Schlussendlich spielt auch die Charakteristik der Alternativroute (Verkehrssituation und Umwegfaktor) eine zentrale Rolle, da der zusätzliche Zeitaufwand auf die Sinnhaftigkeit einer Netzbeeinflussungsmaßnahme ebenfalls Einfluss hat. Mit Blick auf diese Eingangskriterien sind bei einzelnen Bundesländern (auch bei länderübergreifender Betrachtungsweise) die prinzipiellen Möglichkeiten für den Einsatz einer NBA schon allein über die Netzgestalt der Autobahnen definiert. Mit zunehmender Autobahndichte und der wachsenden Anzahl von Autobahnknotenpunkten (respektive Entscheidungspunkten) nehmen auch die Möglichkeiten zu, eine NBA im Autobahnnetz zu integrieren.

Neben eher kleinräumigen NBA in Ballungsräumen werden auch NBA in großräumigen Netzmaschen (und damit zwischen Ballungsräumen) implementiert. Diese NBA sind dann häufig auch nicht mehr in der Zuständigkeit eines einzelnen Bundeslandes bzw. einer Niederlassung der Autobahn GmbH des Bundes, sondern werden zuständigkeitsübergreifend von den Straßenbauverwaltungen verschiedener Bundesländer betreut. Hierzu wurden zwischenzeitlich auch Korridore im deutschen Autobahnnetz abgeleitet, über die der großräumige (Transit-)Verkehr durch Deutschland und zwischen den Agglomerationen abgewickelt werden soll. Diese Long Distance Corridore (LDC) sind insbesondere im Norden, Westen, Süd-Westen und Süden Deutschlands in Betrieb oder im Aufbau. Mit dem Übergang zur Autobahn GmbH des Bundes erfolgt die Steuerung derartiger großräumiger NBA durch die Verkehrszentrale Deutschland (VZD). In einzelnen Fällen werden auch Netzmaschen für NBA im internationalen Zusammenhang definiert (mit den Niederlanden, Österreich und Italien). Bei der Beurteilung der Einflussmöglichkeit mittels dieser internationalen Netzbeeinflussungen ist eine sinnvolle maximale Routenlänge bzw. Fahrtzeit für die betroffene Route zu berücksichtigen. Die Ausdehnung großräumiger Netzmaschen kann dabei zum einen durch die infrastrukturellen Randbedingungen abgeleitet werden, muss aber zum anderen auch die Nutzerseite beachten. So ist eine Einflussnahme auf die Verkehrsteilnehmenden nur erreichbar, wenn ihre tägliche Fahrtweite bei der Netzmaschengröße beachtet wird, die Größe der Netzmasche durch die Verkehrsteilnehmenden verstanden werden kann und beeinflussbare Verkehrsteilnehmende zur Verfügung stehen.

Überlagern sich diese Netzmaschen der Korridore mit anderen regionalen NBA, was bspw. im Ruhrgebiet, in der Region Rhein-Ruhr, Rhein-Main, Rhein-Neckar und in anderen Regionen deutscher Großstädte regelmäßig der Fall ist, wächst die Bedeutung einer abgestimmten Vorgehensweise zwischen den NBA bei deren Anwendung über den in der Planung ursprünglich (auf die relevante Netzmasche bezogenen) Anlass hinaus (vgl. hierzu auch Anlage 1).

Im Operating / Betrieb werden die ursprünglich in der Planung / Konzeption festgelegten Netzmaschen mit Haupt- und Alternativrouten in den überwiegenden Fällen auf Basis der im Planungsprozess festgelegten Vorgehensweisen angewendet. Zwischenzeitlich werden die NBA aber auch aus weiteren spezifischen Randbedingungen des Betriebes heraus individuell eingesetzt. Dies umfasst sowohl die Reaktion einer NBA auf spezifische Störsituationen als auch die Betrachtung einer NBA in Bezug auf den tatsächlichen Einzugsbereich und den damit verbundenen weitergehenden Möglichkeiten einer Ausweisung von Alternativrouten. Gerade der letztgenannte Aspekt mit Fokus auf eine routenbasierte Betrachtungsweise gewinnt in engmaschigen Autobahnnetzen, in denen zwischenzeitlich verschiedene, sich im Netzbereich überlagernde, aber den beeinflussbaren Netzbereich auch ausweitende NBA aufgebaut wurden, dadurch an Bedeutung, dass diese in bestimmten Störsituationen innerhalb des Netzes auch kombiniert genutzt werden können. Dabei können ursprünglich für eine NBA vorgesehene dWiSta-Anzeigen dann auch Aufgaben in einer anderen NBA übernehmen. Zwei NBA können in solchen Fällen auch kombiniert werden und somit den gemeinsamen Einflussbereich erweitern. Die Erweiterung des Einflussbereiches einer dWiSta-Anzeige leitet sich bei wachsender Ausstattungsdichte von dWiSta-Anzeigesystemen dann in zunehmendem Maße von den tatsächlich in der Blaubeschilderung enthaltenen Zielen ab. Durch diese Auflistung der Ziele in der Blaubeschilderung wird aber auch gleichzeitig der Einflussbereich selbst begrenzt. Diese Form der Kombination von NBA wird ergänzt, um die Überlagerung von Einsatzgebieten eher kleinräumiger und großräumiger NBA. Hierbei schließt das Einsatzgebiet einer großräumigen NBA dann dasjenige der kleinräumigen NBA teilweise komplett ein. An einzelnen Entscheidungspunkten kann unter derartigen Randbedingungen die Anzahl der notwendigen Anzeigehalte so weit ansteigen, dass der Informationsumfang zu groß wird, um von den Verkehrsteilnehmenden komplett aufgenommen werden zu können.

Die Technologie mit zeilenbasierten LED-Anzeigekomponenten in den dWiSta-Anzeigesystemen beschränkt zudem die Umsetzbarkeit der weiter zunehmenden Anwendungsfälle an einem Entscheidungspunkt. Hier bieten Vollmatrixanzeigen ein größeres Maß an Flexibilität bei der Gestaltung der Anzeigehalte, wobei die Begrenzung der angezeigten Inhalte durch die Gewährleistung der Wahrnehmbarkeit durch den Verkehrsteilnehmenden bestehen bleibt. Allerdings resultieren aus dem Einsatz von Vollmatrixanzeigen deutlich höhere Herstellungskosten als bei der Verwendung von zeilenbasierten Anzeigesystemen. Dabei spielt auch in zunehmendem Maße die Einschätzung der Relevanz der Information eine Rolle, die (einer Prioritätenreihung folgend) in einem dWiSta-Anzeigesystem für den Verkehrsteilnehmenden tatsächlich bereitgestellt werden soll und kann.

Grundlage 2: Verkehrsdaten – Prinzip der Situationsanalyse

Für die Situationsanalyse, die im Operating / Betrieb eine wesentliche Grundlage für die Entscheidungsfindung darstellt, werden unterschiedliche Verkehrsdaten eingesetzt. So werden Verkehrsdaten (Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten, i.d.R. minütlich aggregiert) aus der stationären lokalen Verkehrsdatenerfassung verwendet. Diese sind sowohl auf Streckenabschnitten der Autobahnen zwischen Knotenpunkten verfügbar als auch teilweise in den Rampen der Autobahnknotenpunkte. Gerade mit den Kenntnissen aus den letztgenannten Standorten der statischen Verkehrsdatenerfassung können auch für eine Wirksamkeitsuntersuchung Abbiegeraten einer NBA abgeschätzt werden, wobei Einflüsse aus anderen Informationsquellen (Navigationsgeräte, Verkehrsmeldungen) davon nicht differenziert werden können. Die Ausstattung der Autobahnknotenpunkte mit Detektionskomponenten ist in den Bundesländern sehr unterschiedlich ausgeprägt. Der ursprünglich genehmigte Ausstattungsumfang der Datenerfassung für die NBA beschränkt sich zumeist auf Standorte auf den Streckenabschnitten zwischen den Knotenpunkten; Standorte in den Knotenpunkten sind darin teilweise nicht enthalten. Problematisch ist bei der stationären lokalen Verkehrsdatenerfassung, dass eine genaue Lokalisierung und Verfolgung des Verlaufs einer Störung nur eingeschränkt möglich sind. Mit zunehmenden Abständen der Standorte für die lokale Verkehrsdatenerfassung wächst die Unschärfe der ableitbaren Aussagen. Zudem führen Störungen im Bereich des Messquerschnitts zu einem nicht eindeutig bestimmbar Verkehrszustand. Verkehrszustandsermittlungen (als Level of Service – LoS) auf Basis einer stationären lokalen Verkehrsdatenanalyse werden bei den befragten Straßenbauverwaltungen der Bundesländer deshalb nur noch selten verwendet, zumeist werden die Daten aus der lokalen Verkehrsdatenerfassung als Eingangsdaten für eine streckenbezogene Situationsanalyse herangezogen. Weitere Eingangsgrößen sind die entsprechenden Ereignismeldungen der Landesmeldestelle bzw. TMC-Meldungen. Die Ergänzung dieser Daten von Einsatzkräften vor Ort und in TMC-Meldungen können die Unsicherheiten der Situationsanalyse aber nur bedingt auflösen. Werden ausschließlich stationäre lokale Verkehrsdatenerfassungssysteme eingesetzt fehlen flächendeckende Angaben zum Beginn und zur Ausdehnung der Störung sowie zu seiner Entwicklung über die Zeit.

Ergänzend oder als Alternative zur ortsfesten Datenerfassung werden deshalb in immer mehr Bundesländern (bspw. in Bayern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen, Hamburg und Baden-Württemberg) auch Verkehrsdaten aus FCD beschafft und für die Zwecke der Situationsanalyse in einer NBA genutzt. Diese Daten werden auf für die Anwendung in der NBA geeignete Segmentlängen aggregiert. Prinzipiell liegen diese Daten bei den Anbietern in einer Feinteiligkeit vor, die für die Nutzung in der Netzbeeinflussung nicht erforderlich ist. Für aggregierte Segmente, die Längen von bis 500 m haben können, werden verschiedene Daten bereitgestellt (bspw. Fahrzeit für die letzte Minute, aktuelle Geschwindigkeit, Geschwindigkeit bei freiem Verkehrsfluss, genaue Lokalisierungsdaten der Stauereignisse und anderer Störungen, Qualitätsindices, etc., minütlich aggregiert). Diese Informationen liegen auch in den Knotenpunkten und auf den Rampen vor. Würde man allerdings nur auf diese Daten referenzieren, fehlten die tatsächlichen absoluten Verkehrsaufkommen auf den Streckenabschnitten bzw. in den Rampen, weil über FCD immer nur eine relevante Teilpopulation des Fahrzeugaufkommens detektiert wird. Auch absolute Änderungen im Verkehrsaufkommen in Abbiegebeziehungen bspw. als Grundlage für eine Wirksamkeitsanalyse lassen sich aus FCD nicht ableiten. Deshalb dienen die FCD nur gemeinsam mit einer stationären lokalen Verkehrsdatenerfassung gemeinsam als Grundlage für eine NBA. In Nordbayern und Thüringen werden zudem Bluetooth-Scanner zur Abschätzung von Fahrzeiten und Routenverläufen herangezogen. Ihr Einsatz ist auch in Hamburg geplant. Die Nutzung von ANPR-Kameras ermöglicht die Bestimmung des tatsächlich beeinflussten Anteils des Gesamtverkehrs. ANPR-Systeme werden derzeit im gesamten Autobahnnetz Bayerns genutzt. Auch in Baden-Württemberg wird über den Einsatz von ANPR-Kameras nachgedacht.

Die Aufbereitung der Daten aus den oben genannten verschiedenen Quellen erfolgt in separaten, der einzelnen NBA zugeordneten Software. Hierbei wird bspw. Fahrtzeit bzw. Verlustzeit ermittelt. Dies geschieht entweder direkt aus den FCD oder aber bei ortsfester Detektion und Verkehrsmeldungen mit Kenntnis der Staulänge und Verkehrszustandsdaten. Alternativ hierzu wird in einzelnen NBA eine Situationsanalyse auch durch die Beurteilung des Fachpersonals in der Verkehrszentrale ergänzend zu den laufend generierten Verkehrsdaten und den sich hieraus ergebenden Analyseergebnissen durchgeführt. Die Situationsanalyse erfolgt ergänzend und zur Verifizierung auch teilweise mit WebCams, die im Autobahnnetz in zunehmenden Maße vorhanden sind.

In Nordrhein-Westfalen ist geplant, dass die aus unterschiedlichen Quellen generierten Daten erst in einer Softwarekomponente zur Konsolidierung der Datenbasis Eingang finden und dort zur Beschreibung der Verkehrslage auch fusioniert werden, bevor auf dieser Grundlage eine Reaktion auf die Verkehrssituation in einer NBA erfolgt.

Die Situationsanalyse findet auf Basis von aktuellen Verkehrsdaten statt. Eine Verwendung von modellhaft abgeleiteten Verkehrsdaten erfolgt nur in Hessen mit ASDAFoto/DIVA. Eine Prognoseanwendung war ursprünglich in der NBA Köln-Koblenz vorgesehen, wird dort aber nicht eingesetzt. Auch die NBA Rhein-Neckar, die den gleichen Algorithmus verwendet, wird ohne eine Prognose betrieben. Eine Prognose der Entwicklung einer Störung würde insbesondere für die situationsgerechte Anwendung der NBA eine weitere Verbesserung bringen.

Weiterhin werden in der Regel in der Situationsanalyse auch Sonderereignisse (Handsaltungen für Arbeitsstellen oder Vollsperrungen, geplante Ereignisse) integriert.

2.2.2 Strategieentwicklung und Wirksamkeitsanalysen

Vorgehen bei der Maßnahmendefinition

Im Operating / Betrieb werden die tatsächlichen Fahrtzeiten (respektive Verlustzeiten) laufend in Bezug auf die Notwendigkeit einer Netzbeeinflussungsmaßnahme ermittelt und geprüft. Mit den derart aufbereiteten Informationen wird in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich umgegangen. Überschreitet die Verlustzeit auf der Normalroute einen hierfür definierten Grenzwert, wird bei Systemen mit dWiSta-Anzeigen in einer ersten Stufe der Verkehrsteilnehmende über die zu erwartende Verlustzeit informiert, während die dWiSta-Anzeigen sonst dunkel sind (bspw. Baden-Württemberg). Als alternatives Vorgehen zur dunklen Anzeige werden aber auch ständig die aktuellen Fahrtzeiten auf der Normalroute angezeigt (bspw. in Hessen). Überschreitet die Verlustzeit in einer weiteren Stufe einen für die jeweilige NBA definierten Schwellwert oder wird eine Mindeststaulänge überschritten, wird zusätzlich in den dWiSta-Anzeigesystemen das Stausymbol angezeigt. Wächst das Ausmaß einer Störung bzw. die daraus resultierende Verlustzeit auf der Normalroute so stark an, dass auf einer Alternativroute bei der aktuellen Verkehrssituation eine fahrtzeitkürzere Route angeboten werden kann, wird in einer dritten Stufe zusätzlich zur Information über die Verkehrslage auf der Normalroute am relevanten Entscheidungspunkt in den dWiSta-Anzeigesystemen eine Routenempfehlung auf die Alternativroute ausgewiesen.

Daneben existieren in Ballungsräumen NBA, die häufig für die Abwicklung veranstaltungsbedingter Verkehrsaufkommen eingesetzt werden. Hier werden ausgehend von einem Eventkalender und erwarteten Besucherzahlen in der Regel Strategien vorab, meist auch zuständigkeitsübergreifend erarbeitet. Beispiele hierfür finden sich in Hamburg, Frankfurt, München und Nürnberg. Dabei werden situationsabhängig verschiedene Verfahrensweisen bei der Abstimmung konkurrierender Netzbeeinflussungsmaßnahmen gewählt. Veranstaltungsbedingte Netzbeeinflussungsmaßnahmen werden je nach Situation aufrechterhalten oder auch zugunsten einer konkurrierenden Anforderung aufgelöst oder modifiziert. Das Vorgehen wird dann in der Regel ausgehend von abgestimmten Verfahrensregeln nach Abstimmung zwischen den Beteiligten umgesetzt.

Die Steuerung der NBA wird in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich umgesetzt. So erfolgt in Nordrhein-Westfalen die Steuerung im Regelfall automatisch, bei länderübergreifenden NBA dagegen nach einem Abstimmungsverfahren auf Grundlage von Strategievereinbarungen. Es besteht in Nordrhein-Westfalen die Auffassung, dass mit wachsender Komplexität der Ausstattung mit NBA im zugrundeliegenden eng vermaschten Autobahnnetz eine regelmäßige Integration des Bedienpersonals in die Entscheidungsfin-

derung nicht zielführend sein kann. In anderen Bundesländern erfolgt die Steuerung von NBA häufig halbautomatisch, d.h., dass dem Bedienpersonal systemseitig die Umsetzung einer Schaltung vorgeschlagen wird und eine Aktivierung der Schaltung erst nach Bestätigung durch das Bedienpersonal erfolgt. Dies gilt auch bei NBA mit überschaubarem Einflussbereich und bei in ihrer Art wiederkehrenden Störungen. Bei NBA mit Bezug zu Veranstaltungsorten werden die Maßnahmen in der NBA regelmäßig manuell, im Sinne einer proaktiven Schaltung, eingeleitet.

Der Umfang der tatsächlich durchgeführten Schaltungen im Rahmen der Netzbeeinflussung ist sehr unterschiedlich. Es gibt nur wenige Straßenbaulastträger (beispielsweise Nordbayern oder Hamburg) die Statistiken über die tatsächlich durchgeführten Schaltungen in den verschiedenen NBA dokumentieren. Es hat sich jedoch aus den Gesprächen mit den Interviewpartnern gezeigt, dass mit wachsender Dichte des Autobahnnetzes mit einer NBA und entsprechend steigendem Verkehrsaufkommen die Einsatzfälle von NBA deutlich ansteigen.

Die Maßnahmenumsetzung sollte nach Auffassung der Interviewpartner möglichst schnell bei Vorliegen der definierten Voraussetzungen und vor allem auch passend zum tatsächlichen Verkehrsgeschehen erfolgen. Eine Rücknahme einer Netzbeeinflussungsmaßnahme (Umleitung auf eine Alternativroute) sollte immer unmittelbar dann erfolgen, wenn die Voraussetzungen zur Aktivierung der Alternativroute nicht mehr vorliegen. Die Anzeigedauer hängt bei aneinander gekoppelten Standorten von dWiSta-Anzeigen auf einer Alternativroute von der Durchfahrtszeit ab.

In Nordrhein-Westfalen und Hessen wird zur Vereinheitlichung der Netzbeeinflussung für jeden Standort einer dWiSta-Anzeige ein Einflussbereich definiert. Ausgehend von den möglichen Störungen innerhalb dieses Einflussbereiches werden verschiedene Strategien bezogen auf diesen Standort definiert. Die Umsetzung der Strategien erfolgt dann bei Vorliegen der entsprechenden Eingangsgrößen automatisch. Alle anderen NBA (länderübergreifende Anwendungen und LDC) sowie auch regionale Netzbeeinflussungen basieren in der Regel auf festgelegten Strategien, die bei der Erfüllung definierter Voraussetzungen umgesetzt werden, wobei jeder Baulastträger nach abschließender Abstimmung die Netzbeeinflussungskomponenten in seinem Zuständigkeitsbereich bedient. Eine Bereitstellung bzw. ein Austausch der zugrundeliegenden Verkehrsdaten an andere Baulastträger erfolgt dann in der Regel nicht. In den anderen Bundesländern ist der Einflussbereich in der Regel durch die Gestalt der Netzmasche definiert.

Fahrt- und Verlustzeiten werden auf Seiten der Straßenbauverwaltungen der Bundesländer zur Interpretation der Verkehrssituation und der daraus resultierenden Störung herangezogen. Wann dies zu einer tatsächlichen Anzeige von Fahrt- und Verlustzeiten für den Verkehrsteilnehmenden führt, wird aber unterschiedlich gehandhabt. Auf der Strecke werden an den Verkehrsteilnehmenden auf den kollektiven Anzeigen unterschiedliche Inhalte kommuniziert. In einzelnen Bundesländern sind die dWiSta-Anzeigekomponenten im unbeeinflussten Zustand dunkel, in anderen werden Fahrtzeiten oder auch ergänzend Verlustzeiten dauerhaft auch ohne vorliegende Störung angezeigt. Die Anzeige von Störungen in den dWiSta-Anzeigesystemen oder auch die Umleitungsempfehlung wird ebenfalls teilweise mit Fahrtzeitinformationen verknüpft. Die Störung wird mit der Anzeige der letzten freien Anschlussstelle kombiniert. Erste Bundesländer haben damit begonnen oder bereiten vor, die in den NBA generierten Routen und die Anzeigehalte der dWiSta-Anzeigen auch über den MDM zu publizieren, um die Strategien (inkl. der auslösenden Ursache) auf diesem Wege in Informations- bzw. Navigationssysteme der Verkehrsteilnehmenden bereitstellen zu können (Hessen, Bayern, Hamburg, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg). Diese Weitergabe des strategischen Routings soll dazu führen, dass Informationen auf dWiSta-Anzeigesystemen kongruent sind mit Informationen, die über die individuelle Routenführung mittels Navigationsgeräten erfolgt und damit die derzeit vorhandenen Diskrepanzen zwischen der individuellen und kollektiven Routenführung vermieden werden.

Eine Differenzierung der bereitgestellten Informationen für spezielle Nutzergruppen (z. B. Pkw- oder Lkw-Verkehr) erfolgt i.d.R. nicht. Ausnahmen sind Sondersituation, wie sie bspw. bei Gewichtsbegrenzung beim Befahren von Bauwerken für den Schwerverkehr denkbar sind oder bei der Durchfahrt durch Baustellenbereiche.

In allen bisher aktiven Anwendungen von dWiSta-Anzeigesystemen für NBA wird die Restkapazität auf der Alternativroute bei der Entscheidung für die Ausweisung der Alternativroute auf Basis der Einschätzungen und Erfahrungswerte der Mitarbeitenden in den Verkehrszentralen berücksichtigt. Die Umleitung auf die Alternativroute erfolgt, wenn die zu erwartende Fahrtzeit hier für den beeinflussbaren Verkehrsanteil Vor-

teile gegenüber derjenigen auf der gestörten Normalroute bietet. Sofern es jedoch auch auf der Alternativroute eine Störung gibt, wird dem Verkehrsteilnehmenden diese Alternativroute nicht angezeigt. Auf den dWiSta-Anzeigen erfolgt dann lediglich die Information auch über die Störung auf der Alternativroute, ergänzend zur Anzeige der Störung auf der Normalroute.

In diese prinzipielle Verfahrensweise werden auch die großräumigeren NBA (bspw. grenzüberschreitende NBA oder LDC) integriert. Diese basieren jedoch in der Regel auf zwischen den einzelnen beteiligten Ländern bzw. Bundesländern abgestimmten Strategiekonzepten, über deren Einsatz in einem Abstimmungsverfahren zwischen den beteiligten Straßenbauverwaltungen entschieden wird. Hierbei sind die notwendigen Maßnahmen für die Umsetzung der Strategie dann immer durch diejenige Straßenbauverwaltung auszuführen, in deren Hoheitsbereich die Beeinflussungskomponenten liegen. In Ausnahmefällen wird mit einzelnen beteiligten Bundesländern auch nur eine Abstimmung durchgeführt, da sie selbst keine Beeinflussungskomponenten in die Strategie einbringen können, aber das Autobahnnetz in ihrem Zuständigkeitsbereich von der Maßnahme betroffen ist.

In engmaschigen Netzen wird die Maßnahmendefinition nicht nur auf die Situation in der Netzmasche selbst beschränkt. Ggf. werden dann auch im umliegenden Autobahnnetz relevante Verkehrssituationen bei der Maßnahmendefinition beachtet, um die auf die Alternativroute umgelenkten Verkehrsanteile nicht auf gestörte Netzabschnitte im Anschluss an die Alternativroute zu leiten.

Die sich aus der laufenden Betrachtung des Verkehrsablaufs auf den einzelnen Streckenabschnitten ergebenden Netzbeeinflussungsmaßnahmen werden auch abgeglichen mit Maßnahmen, die auf Sonderereignisse zurückzuführen sind. Dies kann bspw. eine bereits bekannte oder geplante Arbeitsstelle auf der Normalroute sein. Ergänzend hierzu werden in einzelnen Bundesländern über die dWiSta-Anzeigesysteme auch Informationen an den Verkehrsteilnehmenden vermittelt, die auf eine besondere Situation in näherer Zukunft hinweisen (bspw. Vorankündigung einer Vollsperrung auf der Normalroute o.ä.).

Durchführung von Wirksamkeitsanalysen

Das Verfahren gemäß FGSV-Heft 311 [FGSV 2007] wird von der überwiegenden Zahl der Interviewpartner nur im Rahmen der Planung und der Erstellung von RE-Entwürfen angewendet. Zum Verfahrensablauf und -inhalt wird Kritik dahingehend geäußert, dass der Gesamtnutzen einer NBA nicht strukturiert sinnvoll nachgewiesen werden kann. In dem Verfahren werden Annahmen getroffen, die nicht belastbar sind. Dies betrifft insbesondere die Abhängigkeit zwischen Netzmaschengröße und Abbiegeanteilen. Dadurch entsteht das Dilemma, dass bei der Wirksamkeitsschätzung bei Konzeption / Planung für offensichtlich sinnvolle Standorte für eine Netzbeeinflussung kein ausreichender Nutzen nachgewiesen werden kann. Nach Auffassung der Interviewpartner wird dabei vernachlässigt, dass eine NBA unter Verwendung dieser Standorte flexibler eingesetzt werden könnte, gerade auch um mit begleitenden Maßnahmen das Verkehrsaufkommen besser im relevanten Streckennetz zu verteilen.

Um trotzdem eine Aufwertung dieser Standorte zu erzielen, wird mit alternativen Ansätzen argumentiert. Dabei werden bspw. besondere Situationen im Autobahnnetz in die Betrachtung mit einbezogen. In Nordrhein-Westfalen war dies eine notwendige regelmäßige Sperrung einer zentralen Rheinbrücke. Es konnte nachgewiesen werden, dass dWiSta-Anzeigesysteme einen hohen Nutzen aufweisen, da das Verkehrsaufkommen, ausgehend von der tatsächlichen Verkehrssituation auf benachbarten Brückenbauwerken über den Rhein, im Gegensatz zu einer statischen Ausweisung von Umleitungsrouten leistungsfähig umgeleitet werden kann. Mit dWiSta-Anzeigesystemen können die wechselnden Verkehrsverhältnisse auf den zwei Alternativen entsprechend berücksichtigt werden.

Daneben wird dargestellt, dass die Betrachtung einzelner Standorte und der auf sie bezogenen Nutzenermittlung unberücksichtigt lässt, dass in Situationen mit Überlagerung von Störungen an verschiedenen Stellen im Netz, auch diejenigen Standorte einen Nutzen erbringen können, für die allein ein Nachweis eines ausreichenden Nutzens nicht gelingt. Es wird darauf plädiert, die standortbezogene (auf den Entscheidungspunkt bezogene) Betrachtungsweise durch eine netzbezogene Betrachtungsweise zu ersetzen.

Es wird weiterhin für sinnvoll gehalten, dass die monetarisierbaren Nutzenkomponenten (im wesentlichen Unfallgeschehen und Verlustzeit) ergänzt werden sollten. Der Großteil der Interviewpartner ist der Auffassung, dass die Anzeige von Informationen über die Verkehrslage und vorhandene Störungen im Netz eine Wirkung hervorrufen.

Regelmäßig wurde in den Interviews die Auffassung vertreten, dass aus dem verbesserten Grad der Informiertheit bei den Verkehrsteilnehmenden über eine im weiteren Verlauf der Normalroute existierende Stausituation eine angepasstere, aufmerksamere Fahrweise resultieren kann. Zudem haben nach Auffassung eines Teils der Interviewpartner alle Anzeigen von situationsbezogenen Informationen eine positive Wirkung.

Zur Verbesserung der Abschätzung des erzielbaren Befolgungsgrades sollten bspw. mit ANPR-Kameras aus bestehenden Anwendungen von NBA Grundlagendaten ermittelt werden. Es besteht die weitgehend einheitliche Auffassung, dass die bisher verwendeten Zusammenhänge zwischen Befolgungsgrad und Netzmaschengröße nach den Erfahrungen in der Praxis keine hinreichend genaue Grundlage bieten.

2.3 Kritische Würdigung von Literatur und Praxisschau

Aus den vorangegangenen Kapiteln ergeben sich die folgenden Aspekte, die in Bezug auf ihre Relevanz in der Verfahrensentwicklung analysiert und ggf. berücksichtigt werden sollten:

- Eingangsdaten für das Berechnungsverfahren
- Störungscharakteristik
- Datenquellen
- Beeinflussungspotenzial
- Befolgungsgrad
- Weitere Informationsquellen für die Verkehrsteilnehmenden (z. B. Navigationsgeräte oder Verkehrsmeldungen der Rundfunkdienste)
- Nutzergruppen
- Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen
- Lärmemissionen
- Informiertheitsgrad
- Operative Einflüsse
- Aufwand zur Wirkungsermittlung

Diese Aspekte werden im Folgenden einer kritischen Würdigung unterzogen.

Eingangsdaten für das Berechnungsverfahren

In [FGSV 2007] werden bei der Wirksamkeitsabschätzung (Nutzenkomponente Verkehrsfluss) für die Netzmasche über die Normal- und Alternativroute die Fahrtzeiten kumuliert, wobei hierbei die Abnahme der Anzahl der von einer Störung betroffenen Verkehrsteilnehmenden für die Wirkung einer NBA-Maßnahme die relevante Größe ist. Aus diesem Zusammenhang werden auch Änderungen in den Fahrzeugbetriebskosten abgeleitet. Der Befolgungsgrad ist dabei in der bisherigen Verfahrensweise eine wesentliche Eingangsgröße bei der Ermittlung der kumulierten Fahrtzeiten in der Netzmasche. Dieser wird in der Methodik nach [FGSV 2007] geprägt durch die Kenngrößen Netzcharakter, Maschengröße und Umwegfaktor, deren zukünftige Relevanz und Einfluss bei der Entwicklung eines Wirksamkeitsanalyseverfahrens geprüft werden sollten.

Es werden bei der Wirksamkeitsberechnung nach [FGSV 2007] in Bezug auf den Verkehrsfluss unfallbedingte Stautunden nicht berücksichtigt. Allerdings werden auch bei Störungen durch Unfälle NBA-Maßnahmen in Form der Ausweisung von Alternativrouten und der Information zur Störung auf der Normalroute ergriffen. Es gilt zu prüfen, ob diese Abgrenzung unter diesen Randbedingungen sachgerecht ist.

Bei der Wirksamkeitsberechnung nach [FGSV 2007] werden bei den Nutzenkomponenten Verkehrssicherheit und Verkehrsfluss regionale Entwicklungen (Veränderungen im Unfallgeschehen und im Verkehrsaufkommen) im Bundesland angesetzt, um globale Veränderungen berücksichtigen zu können. Diese Zuordnung gilt es zu überdenken, indem bspw. im Hinblick auf die Verkehrsverhältnisse vergleichbare Netzbe-
reiche oder Streckenzüge herangezogen werden.

Die im Rahmen der Wirksamkeitsschätzung angesetzten Kostensätze können über die Nutzungsdauer auch prognostiziert werden, sofern verlässliche Ermittlungsverfahren verfügbar sind. Dies wird in der weiteren Bearbeitung analysiert.

Störungscharakteristik

Im FGSV-Hinweispapier Heft 311 [FGSV 2007] sind in der Wirksamkeitsabschätzung (Nutzenkomponente Verkehrsfluss) die individuelle Dauer und Länge der Störungen ohne Einfluss, es werden hier charakteristische Störfallmuster angesetzt. Damit werden die individuellen Auswirkungen einer einzelnen Störung nicht berücksichtigt. Störungen lassen sich aber mit verschiedenen Attributen (Ort, Art, Entwicklung, zeitliche Dauer, räumliche Ausdehnung) charakterisieren, deren Integration in die Verfahrensweise zur Wirksamkeitsanalyse geprüft werden sollte.

Die Netzmaschengröße, der Ort der eigentlichen Störung und ihre Dauer bzw. Ausdehnung stehen in Bezug auf die Einsatzmöglichkeiten einer NBA in einem direkten Zusammenhang. Tritt eine Störung bei großräumigen Netzmaschen am Ende der Normalroute kurz vor dem Endpunkt auf, wird der Störungsumfang (zeitliche und räumliche Ausdehnung), aus der eine Empfehlung der Alternativroute resultiert größer sein als bei einer Störung am Beginn der Normalroute. Sofern absehbar ist, dass sich eine Störung innerhalb der Fahrzeit vom Entscheidungspunkt bis zum Ort der Störung auflösen wird, ist die Ausweisung einer Alternativroute nicht zielführend. Je kleinräumiger die Netzmaschen sind, desto weniger stark ist diese Abhängigkeit ausgeprägt. Dieser Zusammenhang wird auf Relevanz für die Verfahrensweise zur Wirksamkeitsanalyse betrachtet.

Der Umfang einer Störung wird bestimmt durch ihren Einfluss auf die Kapazität der Normalroute und durch die Dauer der Störung. Die Notwendigkeit zur Ausweisung einer Alternativroute hängt dabei vom aktuellen Verkehrsaufkommen auf der Normalroute, aber auch im beeinflussbaren Anteil des Verkehrsaufkommens (aktuelles Beeinflussungspotenzial) ab. Inwiefern eine Priorisierung von verschiedenen Störungscharakteristiken (Vollsperrung, Stau, Ereignis, Baustelle, Teilspernung für Verkehrsteilnehmende) auch in diesen Fällen erfolgen sollte, ist mit Blick auf diese Zusammenhänge noch zu klären.

Diese Kategorisierung hat größeren Einfluss auf eine Entscheidungsfindung zur Umsetzung einer Steuerungsstrategie, wenn im Verlauf einer Normalroute mehrere Störungen gleichzeitig anzutreffen sind, und die relevante Störung ermittelt werden soll. Auch hierbei müssen aber die beschriebenen Zusammenhänge zwischen Störung und Verkehrsaufkommen beachtet werden.

Datenquellen

Derzeit wird die Verkehrsdatenerfassung bei NBA immer bezogen auf die jeweilige Netzmasche geplant. Die Verfahrensweise innerhalb der Netzmasche zur Ermittlung der Verkehrssituation und zur Entscheidungsfindung für eine Reaktion darauf (bspw. Ausweisung einer Alternativroute) stehen dabei im Vordergrund. Die laufend erfassten Verkehrsdaten können aber als Datenquelle auch für andere Anwendungen herangezogen werden. Diese Ausweitung des Anwendungsgebietes der vorgesehenen Verkehrsdatenerfassung kann bei der Beurteilung einbezogen werden, wobei zu prüfen ist, wie dies sinnvoll erfolgen kann.

Der für den situationsgerechten Einsatz der NBA erforderliche Aufwand zur Datenerhebung oder -beschaffung wird bisher auf die relevanten Anwendungsfälle beschränkt. Die Ausstattung einer NBA mit einer Datengrundlage zur Situationsanalyse muss dabei auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erörtert werden. Nicht jede Störung rechtfertigt die zu ihrer Erkennung notwendige Technologie zur Erfassung und Analyse. Insbesondere Störungen mit geringfügigem Ausmaß können bspw. bei großräumigen Netzmaschen weniger bedeutsam sein als bei kleinräumigen und die Notwendigkeit von NBA-Maßnahmen beeinflussen. Die Prognose der Störungsdauer ist bei der situationsgerechten Auswahl von NBA-Maßnahmen aber aus diesen Zusammenhängen heraus wichtig und sollte bei der weiteren Bearbeitung auf ihre Integration in das Wirksamkeitsanalyseverfahren geprüft werden.

Aus den ortsfesten NBA-Einrichtungen zur Verkehrsdatenerfassung lassen sich im Rahmen der Wirkungsanalyse gegenüber einer stichprobenhaften Datenerfassung (bei Verwendung von Bluetooth oder FCD) Veränderungen im Verkehrsablauf über das gesamte Verkehrsaufkommen ermitteln. Damit können verlässlichere Aussagen zum Befolgungsgrad abgeleitet werden. Die Vorteile der Datenerfassung mittels Bluetooth oder die Verwendung von FCD kommen demgegenüber vorrangig bei der Fahrzeitabschätzung zum Tragen. Verkehrsteilnehmende, deren Fahrzeug als Datenquelle für FCD dient, werden in der Regel

bereits durch Navigationsdienste bei der Entscheidungsfindung unterstützt oder in Bezug auf das Fahrverhalten beeinflusst. Das Verhalten dieser Verkehrsteilnehmenden wird anders ausgeprägt sein als das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden ohne derartige Unterstützung. Bei der Berücksichtigung von FCD als Datenquelle müssen diese Zusammenhänge beachtet werden.

Beeinflussungspotenzial

Die stärkere Berücksichtigung des Beeinflussungspotenzials sollte aber auch vor dem Hintergrund diskutiert werden, dass der Befolgungsgrad nur eine relative Größe darstellt, bei der der absolute Umfang der Gruppe beeinflussbarer Verkehrsteilnehmenden nicht ausreichend gewürdigt wird. Ein hoher Befolgungsgrad bei geringem Beeinflussungspotenzial (insbesondere in Bezug auf das Verkehrsaufkommen im Zuge der Normalroute) ist dann nur wenig aussagekräftig. Diesem Aspekt sollte in der weiteren Bearbeitung nachgegangen werden.

Das Beeinflussungspotenzial beschreibt die Gruppe der Verkehrsteilnehmenden, die die Normalroute bis zum Endpunkt befahren würden und somit im Falle einer Störung auf der Normalroute von der Nutzung der Alternativroute profitieren würden. In dieser Hinsicht stellt sich dann aus Sicht dieser Verkehrsteilnehmenden eine positive Wirkung ein. Für die betrachtete Störung ist aber nicht nur diese Gruppe von Verkehrsteilnehmenden relevant, sondern das gesamte Verkehrsaufkommen am Ort der Störung. Nur wenn der Anteil der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden auch entsprechend hoch ist, kann eine entlastende Wirkung für die Störung eintreten. Diese Zusammenhänge gilt es bei der Auswahl von Eingangsgrößen in das Wirksamkeitsanalyseverfahren zu beachten.

Befolgungsgrad

Der Befolgungsgrad beschreibt denjenigen Anteil der Verkehrsteilnehmenden im Beeinflussungspotenzial, der einer ausgewiesenen Alternativroute folgt, womit in dieser Kenngröße bereits eine Wirkung auf eine vorhandene Störung enthalten ist. Dieser Anteil hängt aber von Art, Ausdehnung und Dauer der Störung und von der Verkehrssituation auf der Alternativroute ab, so dass es zu jeder Störung einen (im Sinne der Verteilung des Verkehrsaufkommens in der Netzmasche) optimalen Befolgungsgrad geben wird. Diese Verfahrensweise könnte Eingang in das Wirksamkeitsanalyseverfahren finden, wobei unterstellt werden würde, dass sich ein optimaler Befolgungsgrad auch in der Realität einstellt. In Fällen, in denen sich der Befolgungsgrad nicht auf dieses Optimum einstellt (was der Regelfall sein dürfte), wird die Alternativroute entweder nicht in ausreichendem Maße genutzt, um die Normalroute tatsächlich bestmöglich zu entlasten oder aber die Alternativroute wird überlastet. Es muss hierzu geprüft werden, ob eine Individualität auch tatsächlich nachgewiesen werden kann. Wird eine derartige Individualität des Befolgungsgrades anerkannt, aber ihre Nachweisbarkeit ist nicht möglich, so ist zu hinterfragen, ob dem Beeinflussungspotenzial nicht im Wirksamkeitsanalyseverfahren ein größerer Einfluss zugerechnet werden muss.

Die Ausweisung einer Alternativroute hat Einfluss auf die Routenwahl innerhalb der Gruppe der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden. Inwiefern sich die Verkehrsverlagerung auf die Alternativroute dort negativ auswirkt, hängt zum einen von der Restkapazität auf der Alternativroute und zum anderen von der Anzahl der Verkehrsteilnehmenden ab, die der Routenempfehlung folgen. Diese Anzahl wird wiederum beeinflusst durch das tatsächliche Beeinflussungspotenzial und durch die Akzeptanz bei den prinzipiell beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden für die Alternativroute. Ist die Anzahl der tatsächlich beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden gering, kann die Ausweisung einer Alternativroute also auch bei geringen Restkapazitäten dort möglich bleiben. Der Ausschluss einer Empfehlung für eine Alternativroute ist also nicht nur von der Restkapazität auf der Alternativroute, sondern auch von den tatsächlich der Routenempfehlung folgenden Verkehrsteilnehmenden abhängig. Dies muss im weiteren Verlauf der Bearbeitung erörtert werden.

Weitere Informationsquellen für die Verkehrsteilnehmenden

Durch Ausweisung einer Alternativroute wird durch die Beeinflussung der Routenwahl im beeinflussbaren Verkehr der Zustrom auf die Störung vermindert. Dies kann zu einer Reduktion des Störungsumfangs führen, sofern der Anteil der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden einen für die Störungsreduktion relevanten Einfluss hat. Unter diesen Randbedingungen kann sich der Befolgungsgrad vermindern, wenn durch parallele Informationsmedien (Rundfunkdienste und Navigationsdienste) mit dieser Störungsentspannung die Alternativroutenempfehlung zurückgenommen wird. Diese Zusammenhänge sollten im weiteren Bearbeitungsverlauf auf Relevanz geprüft werden.

Die Informationen zur Verkehrslage und zu Routenempfehlungen werden ganz überwiegend durch Verkehrsmeldungen über Rundfunkdienste und durch die individuelle Unterstützung der Verkehrsteilnehmenden durch Navigationsdienste verbreitet. NBA-Einrichtungen der Infrastrukturbetreiber in Form von dWiSta-Anzeigen leisten ebenfalls einen wichtigen Beitrag, dieser ist jedoch nicht isoliert von den zwei anderen genannten Medien zu betrachten. Festgestellte Veränderungen der Routenwahl entsprechen damit dem Befolgungsgrad. Je nach Interpretation der relevanten Verkehrssituation ist dabei der Inhalt der Information nicht in jedem Fall deckungsgleich. Die aus dem Beeinflussungspotenzial ableitbare und zu erwartende Verlagerung kann somit nicht mehr ausschließlich auf die dWiSta-Komponenten in NBA zurückgeführt werden. Dies sollte bei der Entwicklung eines Wirksamkeitsanalyseverfahrens berücksichtigt werden.

Im Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse nach [FGSV 2007] wird die Ausgangslage ermittelt, indem für eine relevante Normalroute die tatsächlichen Störungen über einen längeren Betrachtungszeitraum ermittelt und ihre Auswirkungen auf den Verkehrsablauf abgeschätzt werden. Die herangezogene Datengrundlage ist dabei aber bereits durch Informationen aus Navigationsdiensten und Rundfunkdiensten beeinflusst. Dies muss im weiteren Verlauf der Bearbeitung erörtert werden.

Es ist zudem zu erwarten, dass bei wachsender Durchdringung der Fahrzeugpopulation mit Navigationsdiensten und bei einer hohen Akzeptanz der bereitgestellten Informationen und Empfehlungen der Navigationsdienste die relevanten Störungen auf einer Normalroute reduziert werden, so dass sich dann für den Nachweis der Wirksamkeit von dWiSta-Anzeigen die Anzahl der relevanten Störungen auf der Normalroute vermindern wird.

Nutzergruppen

Der Fahrtzeitvorteil ist das die Entscheidung zur Nutzung einer Alternativroute prägende Entscheidungskriterium. Der Anteil der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden, die einer Alternativroute folgen, wird zunehmen, wenn der Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute gegenüber der Fahrt auf der Normalroute mit relevanter Störung steigt. Allerdings werden hierbei aufgrund des erzielbaren Geschwindigkeitsniveaus im Lkw- und im Pkw-Verkehr unterschiedliche Entscheidungen getroffen. Durch die geringere zulässige Höchstgeschwindigkeit als auch die gefahrene Geschwindigkeit im Lkw-Verkehr ist der Fahrtzeitvorteil für Lkw in der Regel geringer als für Pkw. Gerade bei einer Alternativroute mit großem Umwegfaktor gegenüber der Normalroute wirkt sich dies deutlich aus. Somit sind ggf. für Lkw-Fahrer im Vergleich zu Pkw-Fahrern nur größere Störungen auf der Normalroute maßgeblich. In Netzmaschen mit deutlichen Unterschieden in den Streckenlängen von Normalroute und Alternativroute (sowohl relativ als auch absolut) vermindern sich dadurch die positiven Effekte einer Alternativroutenempfehlung für den Lkw-Verkehr. Dies sollte bei der Entwicklung eines Wirksamkeitsanalyseverfahrens berücksichtigt werden.

Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen

Der Kraftstoffverbrauch wird derzeit in der Wirksamkeitsanalyse von NBA nach [FGSV 2007] nur aufgrund von Fahrleistungsänderungen in der Netzmasche berücksichtigt. Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch (und auch auf die Schadstoffemissionen) haben aber auch die topographischen Verhältnisse der jeweils genutzten Routen. Besonders im Schwerverkehr haben ungünstige Steigungsverhältnisse (in zunehmendem Maße bei wachsender Steigungslänge) einen entsprechenden Einfluss. Vorteile in Bezug auf Kraftstoffverbrauch (und auch auf die Schadstoffemissionen), die mit einer Verminderung der Stauteilnehmenden verbunden werden, können dadurch geschmälert werden. Im weiteren Bearbeitungsverlauf wird die Relevanz dieses Zusammenhangs für das Wirksamkeitsanalyseverfahren analysiert.

Zudem führt die im Regelfall längere Fahrtstrecke auf der Alternativroute auch zu einem höheren Kraftstoffverbrauch und höheren Schadstoffemissionen gegenüber einem ungestörten Fahrtverlauf über die Normalroute. Der Umfang, der für die Ausweisung einer Alternativroute relevanten Störung in Bezug auf Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemissionen müsste bei der Wirkungsanalyse der höhere Aufwand auf der Alternativroute gegenübergestellt werden. Diese Zusammenhänge sollten im weiteren Bearbeitungsverlauf auf Relevanz geprüft werden.

Um den Einfluss einer Information über eine Störung auf der Normalroute mit oder ohne Ausweisung einer Alternativroute auf den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen für die auf der Normalroute verbleibenden Verkehrsteilnehmenden abschätzen zu können, müssten die Effekte auf den Verkehrsablauf bekannt sein. Dass derartige Wirkungszusammenhänge bestehen, wird in den Experteninterviews lediglich vermutet, eine Nachweisführung ist mit den bekannten Erkenntnissen aber nicht möglich.

Lärmemissionen

Um relevante Effekte aus Veränderungen bei den Lärmemissionen abschätzen zu können, müssten die Immissionsorte auf der Normal- und Alternativroute ermittelt werden, an denen die dort geltenden Grenzwerte überschritten werden. Diese werden wesentlich durch den Umgebungscharakter der Streckenzüge bestimmt. Bei der Beurteilung der Effekte ist weiterhin der Umfang der von der Lärmemission betroffenen Bevölkerung zu berücksichtigen. Diese Zusammenhänge sollten im weiteren Bearbeitungsverlauf auf Relevanz geprüft werden.

Informiertheitsgrad

Es wird unterstellt, dass mit steigender Informiertheit der Verkehrsteilnehmenden zur Verkehrssituation auf dem von ihnen geplanten Routenverlauf die für ihre Entscheidungsfindung heranzuziehende Information transparenter, damit auch die Ursache für eine zu treffende Entscheidung nachvollziehbarer und das Fahrverhalten aufmerksamer wird. Inwiefern dies eine Verbesserung in Bezug auf den Fahrkomfort und Aufmerksamkeit darstellt, muss im weiteren Verlauf erörtert werden.

Mit den dWiSta-Anzeigen als Element einer NBA werden die eigentlichen Störungen und Ursachen für die Ausweisung einer Alternativroute mit Ort und Umfang an die Verkehrsteilnehmenden kommuniziert. Durch diese Informationen werden (auch im Falle einer Störung ohne Ausweisung der Alternativroute) auch andere Verkehrsteilnehmende in ihrem Fahrverhalten beeinflusst, die auf der Normalroute verbleiben, weil ihr Ziel im Verlauf der Normalroute (ggf. mit kleinräumigen Anpassung des Routenverlaufes zum eigentlichen Ziel) erreicht wird. Damit sind die Informationen auf den dWiSta-Anzeigen für einen größeren Kreis von Verkehrsteilnehmenden relevant als bei einer reinen substitutiven Wechselwegweisung. Es gilt zu prüfen, inwieweit das gesteigerte Maß der Informiertheit für diese Gruppen von Verkehrsteilnehmenden bedeutsam ist. Der Einfluss der Anzeigemöglichkeiten von weitergehenden Informationen auf dWiSta-Anzeigen (z. B. Verlustzeiten) auf die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden und damit auf das Fahrverhalten in Bezug auf das Verkehrsgeschehen wird kontrovers diskutiert.

Darüber hinaus stellen qualitativ hochwertige Verkehrsinformationen per se ein Qualitätsmerkmal dar, das sich ggf. zwar nicht unmittelbar auf die Verkehrsqualität auswirkt, aber für sich genommen für die Verkehrsteilnehmenden z. B. aufgrund der besseren Planbarkeit der Ankunftszeit von Nutzen ist, der sich aber nicht oder nur schwer monetär beziffern lässt.

Operative Einflüsse

Die dWiSta-Anzeigen werden derzeit in Bezug auf die Ausweisung einer Alternativroute in den verschiedenen Niederlassungen der Autobahn GmbH des Bundes bzw. der Verkehrszentrale Deutschland (bis 31.12.2020 in den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer) nach unterschiedlichen Schwellwerten der Kenngrößen aktiviert. Zudem werden die dWiSta-Anzeigen aber auch neben der Informationsverbreitung über Störungen im Verlauf der Normalroute auch für die Anzeige der aktuellen Fahrtzeit auf der Normalroute eingesetzt. Hierzu existieren in den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer und auch in der Fachliteratur konträre Auffassungen, die im Rahmen der weiteren Bearbeitung gegeneinander abgewogen werden sollten. Insbesondere die Aufmerksamkeitssteigerung bei den Verkehrsteilnehmenden bei nur seltenem Einsatz der dWiSta-Anzeigen wird in diesem Zusammenhang auch als Argument dafür benannt, auf die dauerhafte Anzeige von Informationen zu verzichten.

Im Planungsprozess einer NBA müssen sich die Überlegungen auf Normal- und Alternativroute beschränken. Wenn aber zwischen dem Entscheidungspunkt und dem Endpunkt weitere kleinere Netzmaschen gebildet werden können, kann in stärkerem Maße die tatsächliche Ausprägung der relevanten Alternativroute in diesem komplexen Netzbereich variiert werden, auch um bspw. Teilkollektive oder Zielgruppen im betrachteten Netzbereich zu trennen und somit das Verkehrsmanagement im Netz zu fördern. Ein ähnlicher Effekt stellt sich schon jetzt immer dann ein, wenn sich Netzmaschen überlagern und die verfügbaren NBA-Komponenten auch im Verbund genutzt werden können (LDC-Korridore). Dies wird im aktuellen Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung jedoch nicht ausreichend berücksichtigt. Es gilt deshalb zu klären, ob die bisherige auf den Standort einer NBA bezogene Betrachtung durch die Rolle des Standortes im Verbund anders bewertet werden kann als bisher. Derartige Standorte werden aufgrund des fehlenden Nutzens derzeit nicht weiterverfolgt. Würde man jedoch diese in die Nutzenermittlung einer dann verzweigten Netzmasche einbeziehen, könnte ein höherer Nutzen entstehen. Dies muss im weiteren Bearbeitungsverlauf analysiert werden.

Eine Alternativroute kann nur dann sinnvoll ausgewiesen werden, wenn diese noch ausreichende Restkapazitäten für die Aufnahme des beeinflussbaren Verkehrsaufkommens bietet. Für die Einsatzmöglichkeiten einer NBA wirken somit auch die Randbedingungen auf den Streckenabschnitten der Alternativroute reglementierend. Negative Auswirkungen auf den Verkehrsablauf im Zuge der Alternativroute sollten durch NBA-Maßnahmen minimiert werden. Zeiträume fehlender Restkapazitäten auf den Streckenabschnitten im Zuge der Alternativroute und ein zunehmendes Verkehrsaufkommen dort führen auch dazu, dass die Einsatzzeiten einer NBA auch durch die Verkehrssituation auf der Alternativroute bestimmt werden. Dies muss im weiteren Bearbeitungsverlauf analysiert werden.

Aufwand zur Wirkungsermittlung

Bei den Überlegungen zur Erweiterung der Methodik zur Wirksamkeitsanalyse muss auch berücksichtigt werden, welcher Aufwand dafür entsteht, die Kenngrößen für Kriterien zu einzelnen Nutzenkomponenten zu ermitteln. Die Feststellung allein, dass ein Kriterium relevant wird, muss auch im Zusammenhang mit dem Aufwand zur Ermittlung der zugeordneten Kenngrößen erfolgen.

2.4 Konkretisierung des Überarbeitungsbedarfs des Vorgehens nach FGSV-Heft 311

Die im FGSV-Heft 311 [FGSV 2007] dargestellten Berechnungsverfahren zur Wirksamkeitsschätzung und -berechnung sind für alle Typen von Verkehrsbeeinflussungsanlagen entworfen worden und ermöglichen damit, dass alle geplanten Anlagen bewertet und nach einer Nutzen-Kosten-Analyse aufbauend auf der Wirksamkeitsschätzung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit miteinander verglichen werden können. Aus der Literaturanalyse und der Praxisschau ergeben sich nunmehr aber Erkenntnisse, die eine Fortschreibung der derzeit in [FGSV 2007] verfügbaren Berechnungsverfahren für NBA sinnvoll erscheinen lassen.

Folgende Punkte in Bezug auf die Durchführung der Wirksamkeitsschätzung nach dem Verfahren aus dem Hinweispapier sind zu überdenken:

- Trotz der bewusst gering gehaltenen Anforderungen an die erforderlichen Eingangsdaten (Störungsinformationen und Informationen zum Verkehrsablauf) ist nicht sichergestellt, dass für die Anwendung im Verfahren diese überall flächendeckend vorliegen.
- Zu den derzeit verwendeten Kenngrößen bzw. Eingangsdaten, die für die Wirksamkeitsschätzung herangezogen werden, gibt es Alternativen, mit denen die Wirkungszusammenhänge auf andere Weise dargestellt werden können.
- Der Befolgungsgrad als ein bei den Verfahren zur Wirksamkeitsschätzung zentraler Parameter ist nach wie vor nicht zufriedenstellend erfasst und beschrieben. Die Schwierigkeit bei der Bestimmung des Befolgungsgrades besteht auch darin, dass Anzeigen auf NBA zumeist Empfehlungscharakter haben und damit unverbindlich sind. Zudem bleibt das Verkehrsaufkommen, auf das sich der Befolgungsgrad beziehen lässt, nämlich die Gruppe der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden unberücksichtigt.
- Das Verfahren ist bei der Erneuerung einer NBA nicht anwendbar, da für diesen Fall die erforderlichen Vorher-Daten, d. h. ohne den Einfluss der NBA, nicht vorliegen, wenn sich die wesentlichen Randbedingungen verändert haben (bspw. zwischenzeitlicher Ausbau von Netzelementen auf der Normal- oder Alternativroute).
- Die Unterschiede, hervorgerufen durch die verschiedenen Anzeigehalte einer NBA (substitutive/additive Wechselwegweisung, dWiSta- bzw. Vollmatrix-Anzeigen) werden nicht adressiert. Es wird beispielsweise nicht berücksichtigt, dass durch die Anzeige der Lage eines Störfalls (nicht bzw. nur eingeschränkt möglich mit klassischer substitutiver/additiver Wegweisung) die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden im Zufluss zu diesem Störfall erhöht wird und somit das Risiko von Auffahrunfällen sinken kann [JAKOBY / BECKROTH 2010]. Auch Verkehrsteilnehmende mit Ziel im Zuge der Normalroute können hiervon profitieren, da sie die Lage der Störung in ihre Routenwahlentscheidung berücksichtigen können.

-
- Die Beschränkung des Verfahrens auf jeweils einzelne Standorte an Entscheidungspunkten vernachlässigt die erweiterten Möglichkeiten durch den Einsatz von Standorten im Verbund. So werden bspw. innerhalb einer Netzmasche kleinräumigere Alternativrouten möglich, wenn weitere Entscheidungspunkte verfügbar sind und somit der Verlauf der Alternativroute im Netz variiert werden kann. Dies gilt insbesondere auch dann, wenn die Wirkung der Standorte auch auf in sich verschachtelte oder aber verkettete Netzmaschen ausgedehnt werden soll. Hierbei kann die Betrachtung der Überlagerung gleichzeitiger Störungen zu einem anderen Nutzen führen als bei einer Einzelbetrachtung der Störung.
 - Die wachsende Anzahl von NBA führt in immer stärkerem Maße zu einer Überlagerung bzw. Verbindung der Einflussbereiche, so dass zur Ergänzung der einzelnen NBA zu einer weiträumig wirkenden NBA ergänzende Standorte sinnvoll sein können.
 - Es sollten auch lang andauernde Kapazitätseinschränkungen durch Baumaßnahmen in das Verfahren integriert werden können.
 - Es ist zu bedenken, dass weitere Informationsquellen zur individuellen Routenführung (Rundfunk- und Navigationsdienste) die Routenentscheidung der einzelnen Verkehrsteilnehmenden maßgeblich beeinflussen, sodass eine Wirkung nur zu Teilen als Nutzen der betrachteten NBA ausgelegt werden kann.

Bei einer Wirksamkeitsberechnung besteht die Schwierigkeit darin, die Nettowirkung zu ermitteln. Die Nettowirkung ist der Teil der Veränderung bei den Ergebnisindikatoren, der auf die Errichtung der NBA zurückzuführen ist. Demgegenüber steht die Bruttowirkung, die auch den Effekt anderer Maßnahmen oder allgemeiner Trends beinhaltet [FGSV 2012 b]. Um die Nettowirkung der jeweiligen Verkehrsbeeinflussungsanlage zu ermitteln, wird nach dem in [FGSV 2007] beschriebenen Verfahren der regionale Trend aus der Bruttowirkung herausgerechnet. Für die dabei vorgesehene Abgrenzung zur Ermittlung des regionalen Trends (für das jeweilige Bundesland) existieren keine Festlegungen. Der Ableitung von Trends nach regionalen Veränderungen in Bundesländern steht die Möglichkeit gegenüber Vergleichsstrecken gleichen verkehrlichen Charakters für die Betrachtung heranzuziehen.

Als weiteres Defizit des Verfahrens wird bereits in der Begleitforschung zu [FGSV 2007] benannt, dass die strategischen Ziele und Funktionen der einzelnen NBA nicht berücksichtigt werden [BUSCH et al. 2009].

3 Charakterisierung von Anwendungsfällen der Netzbeeinflussung

Die Einflussbereiche von NBA können nach unterschiedlichen Kriterien differenziert werden. Im Folgenden werden verschiedene Differenzierungen dargestellt, die sich der Netzbeeinflussung von unterschiedlichen Seiten nähern.

3.1 Angebotsseitige Betrachtung

3.1.1 Infrastrukturbezogene Kriterien

Die zur Verfügung stehende Infrastruktur kann zur Unterscheidung von Netzbeeinflussungsmaßnahmen herangezogen werden, Die unterschiedlichen Ausprägungen beziehen sich auf die Größe, die Lage und die Komplexität des betrachteten Netzes. Hinsichtlich dieser statischen Eigenschaften können folgende Differenzierungen vorgenommen werden:

- **Netzmaschengröße**
Die Länge der Haupt- und Alternativroute sowie die räumlichen und zeitlichen Umwegfaktoren der Alternativroute haben einen Einfluss auf die Beeinflussbarkeit des Verkehrs. Je länger die Normalroute einer Netzmasche ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Verkehrsteilnehmende die komplette Strecke bis zum Zielpunkt befahren und damit von einer Nutzung der Alternativroute profitieren. Eine Unterscheidung der Netzmaschengröße kann gemäß FGSV 2007 erfolgen:
 - Kleinräumiges Netz: Länge der Normalroute < 50 km
 - Großräumiges Netz: Länge der Normalroute > 50 km
- **Lage im Netz / räumliches Umfeld**
Die räumliche Lage im Netz spiegelt sich in der Zusammensetzung der den beeinflussten Bereich befahrenden Verkehre wider. Dies wiederum hat einen Einfluss darauf welches Teilkollektiv durch die Netzbeeinflussungsmaßnahmen angesprochen werden kann. Es ist daher zu unterscheiden nach den räumlichen Lagen:
 - innerhalb von Ballungsräumen
gekennzeichnet durch einem hohen Anteil an ortskundigen Verkehrsteilnehmenden mit i.d.R. geringen Fahrtstrecken im Netz
Alternativrouten sind kleinräumige Umfahrungen mit geringen Verlustzeiten gegenüber der Normalroute
 - außerhalb von Ballungsräumen
mit höherem Anteil an Fernverkehr (i.d.R. ortsunkundige Verkehrsteilnehmende)
Alternativrouten stellen großräumige Umfahrungen dar, es kommen auch Routen mit größeren Umwegfaktoren infrage.
- **Komplexität des Netzes**
Die Anzahl der Entscheidungspunkte und auszuweisenden Alternativrouten stellt einen weiteren Einfluss auf die Möglichkeiten der Netzbeeinflussung dar.
 - einfach:
Netzmasche ausgehend von einem Entscheidungspunkt mit einer Haupt- und einer Alternativroute
 - komplex:
mehrere Netzmaschen ausgehend von einem Entscheidungspunkt mit einer Haupt- und mehreren Alternativrouten
 - gleichartig überlagert:
Teilnetz mit Überlagerung von mehreren Haupt- und Alternativrouten ausgehend von mehreren Entscheidungspunkten in gleich gearteter Lage im Netz bzw. gleicher Netzgröße (bspw. Netzmaschen in Ballungsräumen)

- verschiedenartig überlagert:
Teilnetz mit Überlagerung von mehreren Haupt- und Alternativrouten ausgehend von mehreren Entscheidungspunkten in unterschiedlich gearteter Lage im Netz bzw. unterschiedlicher Netzgröße (bspw. Haupt- und Alternativrouten als Teil von Netzmaschen in Ballungsräumen und in Fernverkehrsverbindungen)

3.1.2 Anwendungsbezogene Kriterien

Neben den infrastrukturbezogenen Kriterien können aus operativer Sicht zusätzliche Unterscheidungen von Netzbeeinflussungsmaßnahmen vorgenommen werden. Dabei können der Zuständigkeitsbereich, die Häufigkeit der Maßnahmenanwendung, die Überlagerung von Netzmaschen und die Prognosefähigkeit des Steuerungsalgorithmus als Unterscheidungskriterien herangezogen werden. Zuständigkeitsbereich

- Maßnahmen im eigenen Zuständigkeitsbereich
Die Netzmaschen befinden sich komplett innerhalb des Zuständigkeitsbereiches eines Baulastträgers. Technische, organisatorische und betriebliche Abläufe zur Netzbeeinflussung können intern festgelegt werden.
- Zuständigkeitsübergreifende Anwendungsfälle
Mit dem zunehmenden Ausbau und der Nutzung von verkehrstelematischen Systemen zur Verkehrsbeeinflussung nimmt die Vernetzung von einzelnen Systemen über Zuständigkeitsgrenzen hinweg einen immer höheren Stellenwert ein. Herausforderung in diesem Zusammenhang ist die Abstimmung von sowohl technischen als auch organisatorischen Fragestellungen. Im FGSV-Hinweispapier „Hinweise zu Planung und Betrieb von betreiberübergreifenden Netzsteuerungen in der Verkehrsbeeinflussung“ [FGSV 2008 a] sind hierzu die wesentlichen Fragestellungen beschrieben. Zuständigkeitsübergreifende Maßnahmen können dabei die Zusammenarbeit unterschiedlicher Baulastträger betreffen:
 - Netzbeeinflussung in Ballungsräumen (Autobahnen und Straßen des nachgeordneten Netzes mit z. B. kommunaler Baulast)
 - Netzbeeinflussung über Bundesländergrenzen hinweg („Long Distance Corridore“ – LDC)
 - Internationale Netzbeeinflussung über Ländergrenzen hinweg („Cross Border Management“ – CBM)
- Häufigkeit der Maßnahmenanwendung
 - Regelmäßige Aktivierung
Auslöser für regelmäßige Maßnahmen können sein: kapazitätsbedingte Einschränkungen durch den werktäglichen Berufsverkehr (morgens und abends) oder Einschränkungen auf den Routen des Freizeitverkehrs am Wochenende zu Naherholungsgebieten (saisonal bedingt im Sommer und/oder Winter)
 - Aktivierung nur in Ausnahmefällen (unvorhersehbares Ereignis)
Auslöser der Maßnahme sind Störfälle aufgrund von Einschränkungen der Verfügbarkeit der Normalroute z. B. durch Unfälle, Pannenfahrzeuge, Witterungsereignisse oder aufgrund von erhöhter Verkehrsnachfrage durch Sonderereignisse (z. B. Ausfall von ÖV-Verbindungen aufgrund von Streik).
 - Aktivierung nur in Ausnahmefällen (planbares Ereignis)
Auslöser der Maßnahme sind Störfälle aufgrund von Einschränkungen der Verfügbarkeit der Normalroute durch Arbeitsstellen oder im Zusammenhang mit der An- und/oder Abreise zu Veranstaltungen.
- Überlagerung von Maßnahmen mehrerer Teilnetze/Netzmaschen
Insbesondere in vermaschten Autobahnnetzen können sich eine Vielzahl von Netzmaschen auf mehreren Streckenabschnitten überlagern. Weiterhin besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Störungen gleichzeitig im Netz auftreten. Bei mehreren gleichzeitig vorliegenden Störungen im Netz ist für Schaltstrategien, welche durch Umleitungsempfehlungen Verkehre auf ein und

dieselbe Route verweisen, eine Priorisierung notwendig. Eine Überlastung gemeinsamer Teilstrecken von zeitgleich aktivierten Schaltstrategien aufgrund der verlagerten Verkehre ist hierbei zu vermeiden. Hierzu müssen flächendeckend Informationen zu den aktuell vorhandenen Restkapazitäten zur Verfügung stehen und kontinuierlich geprüft werden.

- Differenzierung von Maßnahmen nach Verteilung der Fahrtweiten
Wenn sich auf einem Streckenabschnitt Verkehre unterschiedlicher Fahrtweiten (z. B. lokaler kleinräumiger Verkehr und großräumiger Fernverkehr) und innerhalb verschiedener Netzmaschen überlagern, kann eine Netzbeeinflussungsmaßnahme als Reaktion auf eine Störung auf diesem Streckenabschnitt unterschiedlich sein, je nachdem, welcher Verkehrsanteil zum Zeitpunkt der Störung vorherrscht.
- Prognose Störungsbeginn und -ende bzw. Störungsdauer
 - Ohne Prognose
Es erfolgen nur reaktive Schaltungen, eine Netzbeeinflussungsmaßnahme kann erst dann aktiviert werden, wenn das auslösende Ereignis auf Basis der verkehrlichen Situationsanalyse detektiert wurde.
 - Mit Prognose (modellbasiert)
Netzbeeinflussungsmaßnahmen können vorausschauend und proaktiv ergriffen werden, damit Störungen von vornherein verhindert bzw. in ihrer Ausprägung gemindert werden können. Hierfür wird auf Basis von Prognosemodellen frühzeitig die Entwicklung der verkehrlichen Situation vorausberechnet. Ebenso können Prognosewerte zu den Umfelddaten als ein Einflussfaktor auf die Störfallentwicklung hilfreich sein
 - Auf Grundlage eines Eventkalenders
Netzbeeinflussungsmaßnahmen können auch auf Grundlage bekannter Ereignisse (Veranstaltungsverkehre oder Arbeitsstellen) ergriffen werden. Der Fall von geplanten Ereignissen (mit bekannten Störungsauswirkungen) wird nicht als "Prognosefähigkeit" des Steuerungsalgorithmus verstanden.

3.2 Nachfrageseitige Betrachtung

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Netzbeeinflussung ist nicht für jeden Verkehrsteilnehmenden, der in den beeinflussten Netzbereich einfährt, in gleicher Weise relevant. Eine zielgerichtete Weitergabe von Informationen an die Verkehrsteilnehmenden stellt die Voraussetzung für die Befolgung und Wirkung der beabsichtigten Netzbeeinflussung dar.

Mit wachsender Länge der Normalroute innerhalb einer Netzmasche sinkt der Anteil der am Entscheidungspunkt vorbeifahrenden Verkehrsteilnehmenden, die die ungestörte Normalroute bis zum Zielpunkt der Netzmasche befahren würden. Sofern sich eine Störung auf der Normalroute vor dem Ziel der Verkehrsteilnehmenden befindet, die nicht die komplette Normalroute befahren, so ist die ausgewiesene Alternativroute nicht in jedem Fall für diese Verkehrsteilnehmenden geeignet. Je weiter eine Störung auf der Normalroute vom Entscheidungspunkt entfernt ist, desto höher ist der Anteil der Verkehrsteilnehmenden, die davon nicht betroffen sind und ihr Ziel im Zuge der Normalroute unverändert erreichen können.

Es ist weiterhin anzunehmen, dass die Netzkenntnis des Verkehrsteilnehmenden einen Einfluss auf dessen Reaktion auf Verkehrsinformationen und Routenempfehlungen hat. Der Regional-, Fern- und Transitverkehr sowie Personen- und Güterverkehr wird Umleitungsempfehlungen in unterschiedlichem Ausmaß befolgen.

Es erscheint deshalb sinnvoll, die unterschiedlichen Gruppen von Nutzern zu differenzieren, welche im Rahmen der Netzbeeinflussung auch für eine Auftrennung des Verkehrs in Teilkollektive genutzt werden können. Eine Unterscheidung der Nutzergruppen kann auf Grundlage folgender Kriterien erfolgen:

- **Fahrtweite**

In Abhängigkeit der Entfernung des Fahrtzieles eines Verkehrsteilnehmenden werden Störungen unterschiedlichen Ausmaßes für die jeweiligen Verkehrsteilnehmenden relevant und entsprechend unterschiedliche Reaktionen auf Netzbeeinflussungsmaßnahmen sind zu erwarten.

 - **Fernverkehr / Transitverkehr**

Verkehrsteilnehmende mit Fahrtstrecken von mehr als 100 km, im Wesentlichen Verbindungen zwischen Metropolregionen (mit internationaler bzw. nationaler Bedeutung) gemäß dem System der zentralen Orte sowie in benachbarte Staaten, Es werden Verbindungen der Verbindungsfunktionsstufe 0 (kontinental) gemäß RIN [FGSV] 2008 b) adressiert.
Aufgrund der großen Entfernungen zum Fahrtziel kommen für eine Netzbeeinflussung für diese Nutzergruppe weiträumigere Alternativrouten in Frage. Die Akzeptanz derartiger Umfahrungen ist stärker ausgeprägt, da auch der Grad der Informiertheit bei den Verkehrsteilnehmenden mit wachsender Fahrtweite abnehmen wird.
Störungen als Auslöser für die Entscheidung zur Nutzung einer Alternativroute müssen einen gewissen Störungsumfang aufweisen. Störungen mit geringen Verlustzeiten werden toleriert.
 - **überregionaler Verkehr**

Verkehrsteilnehmende mit Fahrtstrecken bis zu 100 km, im Wesentlichen Verbindungen zwischen Oberzentren gemäß dem System der zentralen Orte; Es werden Verbindungen der Verbindungsfunktionsstufe I (großräumig) oder II (überregional) gemäß RIN [FGSV] 2008 b) adressiert.
 - **regionaler und lokaler Verkehr**

Verkehrsteilnehmende mit Fahrtstrecken < 50 km, Verbindungen im Wesentlichen zwischen Mittelzentren gemäß dem System der zentralen Orte; Es sind hiervon Verbindungen der Verbindungsfunktionsstufe III (regional) gemäß RIN [FGSV] 2008 b) betroffen.
Für Alternativrouten mit großem Umwegfaktor ist hier ein geringer Befolgungsgrad zu erwarten. Bereits bei Störungen mit geringem Störungsumfang kann eine Netzbeeinflussungsmaßnahme sinnvoll sein.
- **Verkehrsmittel**

Die Fahrer von Pkw und Lkw verfolgen im Hinblick auf die Routenwahl und in diesem Zusammenhang auf die Berücksichtigung von Hinweisen zur Netzbeeinflussung unterschiedliche Zielrichtungen.

 - **Pkw-Verkehr**

Pkw-Fahrer verfolgen i.d.R. bei Ihrer Routenwahl das Ziel einer Fahrtzeitoptimierung. Umwegfaktoren spielen eine große Rolle bei der Entscheidung zur Nutzung von Alternativrouten
 - **Lkw-Verkehr**

Für den Lkw-Verkehr spielen neben der Fahrtzeit auch Aspekte der Streckengeometrie auf den empfohlenen Alternativrouten (z. B. Steigungs- und Gefällestrrecken) eine Rolle und haben damit einen Einfluss auf den Befolgungsgrad der Alternativroutenempfehlung. Diese Einschätzungen variieren ggf. weiter nach der Fahrtweite der einzelnen Lkw-Teilkollektive:

 - **Güterfernverkehr**

Lkw-Zielverkehre zu Logistik-Hubs und Güterverkehrszentren innerhalb des jeweiligen Netzbereiches sowie der Lkw-Verkehre mit weiter entfernten Zielen (Lkw-Durchgangsverkehr)

- Regionaler Güterverkehr
Lkw-Quellverkehre von Logistik-Hubs und Güterverkehrszentren
- Lokaler Verteilerverkehr
Güterverkehre zum Endkunden mit Zielen meist im nachgeordneten Straßennetz
- Veranstaltungsverkehr
Aufgrund der erhöhten Verkehrsbelastungen auf den Routen zum und vom Veranstaltungsort zu Veranstaltungsbeginn und -ende hat die Verkehrsbeeinflussung und die Information über Störungen und ggf. angepasste Routenführung einen großen Einfluss auf den Verkehr im betroffenen Netzbereich. Für Veranstaltungsbesucher ist eine zielgerichtete Information mit Bezug zur Veranstaltung bzw. dem Veranstaltungsort notwendig.

4 Bausteine für ein angepasstes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse

4.1 Vorschlag zur Vorgehensweise zur Netzmaschendefinition

Maßgebend bei der Betrachtung von Netzbeeinflussungsmaßnahmen ist die Festlegung der beeinflussbaren Bereiche des Straßennetzes anhand der vorhandenen Netzstruktur. Ausgangspunkt stellt dabei zunächst das komplette Autobahnnetz mit den Autobahnkreuzen und -dreiecken dar, die als Entscheidungspunkte für eine Netzbeeinflussung dienen. In Einzelfällen können auch Bundesstraßenabschnitte integriert werden, sofern diese eine ausreichende Leistungsfähigkeit aufweisen.

Für die Charakterisierung des vorhandenen Straßennetzes wurde im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes EasyWay in Form der Betriebsumfelder (Operating Environments) [EASYWAY 2012 a] ein Klassifikationssystem definiert, welches die Grundlage für den Einsatz, die Erweiterung und die Anpassung von international harmonisierten Anwendungen Intelligenter Verkehrstelematischer Systeme (IVS) darstellt. Dieses Klassifizierungsschema kann als Orientierung für die Festlegung eines strategischen Netzes und damit auch zur Ableitung relevanter Netzbereiche für die Netzbeeinflussung herangezogen werden. Im Fokus der Betrachtungen in EasyWay stehen Strecken mit verkehrlicher Bedeutung für die transeuropäischen Verbindungen (TERN – Trans European Road Network). Das erarbeitete Klassifikationsschema berücksichtigt dabei verschiedene Kriterien:

- Bauliche Kriterien (Straßentyp mit physikalischen Eigenschaften wie baulich getrennte Fahrbahnen und Fahrstreifenanzahl)
- Funktionale Kriterien (Netzwerk-Typologie: Korridor, Netzwerkbindeglied, kreuzungsfreies Streckenbindeglied, Verbindung zu verkehrsrelevanten Punkten)
- Verkehrliche und/oder sicherheitsrelevante Kriterien (verkehrssicherheits- bzw. verkehrsflussrelevante Eigenschaften).

Als Ergebnis der Klassifikation werden 18 Ausprägungen definiert (siehe Tab. 4-1), die eine eindeutige Charakterisierung von Streckenabschnitten ermöglichen. Die allgemeine Anordnung ist nach einem Buchstaben-Code gemäß der unterschiedlichen Eigenschaften unterteilt [EASYWAY 2012 a]:

- C – kritische Punkte/Engstellen (Brücken, Tunnel, Abschnitte mit Wechselverkehrsführung Spot (oder lokal begrenzter Streckenabschnitt); ist ein bestimmter Teil der Straße / Autobahn welcher von dem umgebenden Teil des transeuropäischen Straßennetzwerks (TERN) abweicht (kritische Kurven, bergauf-Abschnitte, Tunnel, Brücken, Autobahnkreuze, etc.) insbesondere im Hinblick auf die Notwendigkeit von speziellen IVS-Lösungen
- T – Autobahnen
Streckenabschnitte mit zwei oder mehr Fahrstreifen in beide Fahrrichtungen mit baulicher Trennung zwischen den Fahrrichtungen und planfreien Knotenpunkten
- R – Straßen
Streckenabschnitte mit einem oder zwei Fahrstreifen je Fahrrichtung ohne bauliche Trennung zwischen den Fahrrichtungen und plangleichen Knotenpunkten
- S – Autobahn-Korridore oder Netzwerke
Straßenabschnitte sind Teil eines langen Korridors, welcher große Städte und andere wichtige Standorte, wie z. B. wichtige Häfen, verbindet und mindestens zwei Alternativrouten beinhaltet, von denen mindestens eine typischerweise eine Autobahn ist und i.d.R. im Verantwortungsbereich eines Straßenbetreibers liegt
- N – Straßen- Netzwerk
ein Netz von Straßen, Autobahnen oder eine Mischung aus Landstraßen und Autobahnen
- P – Peri-urbanes (randstädtisches) Netzwerk
Straßenabschnitt als Teil einer Autobahn oder eines Straßennetzwerkes, welches das transeuropäische Straßennetzwerk (TERN) in das Straßennetzwerk eines Hauptballungszentrums integriert. (Typischerweise ist eine Umgehungsstraße um ein städtisches Gebiet Teil eines solchen Netzwerks.)

Betriebs- umfeld	Funktion / Straßentyp	Verkehrsbelastung / Gefährdungspotenzial
C1	kritischer Spot oder Gefahrenschwerpunkt	lokale Verkehrsbelastung und/oder Gefährdungspotenzial
T1	Autobahn (Verbindung)	keine Verkehrsbelastung, kein größeres Gefährdungspotenzial
T2	Autobahn (Verbindung)	keine Verkehrsbelastung, Gefährdungspotenzial vorhanden
T3	Autobahn (Verbindung)	tägliche Verkehrsbelastung, kein größeres Gefährdungspotenzial
T4	Autobahn (Verbindung)	tägliche Verkehrsbelastung, Gefährdungspotenzial vorhanden
R1	zweistreifige Straße (Verbindung)	keine Verkehrsbelastung, kein größeres Gefährdungspotenzial
R2	zweistreifige Straße (Verbindung)	keine Verkehrsbelastung, Gefährdungspotenzial vorhanden
R3	zweistreifige Straße (Verbindung)	saisonale oder tägliche Verkehrsbelastung, kein größeres Gefährdungspotenzial
R4	zweistreifige Straße (Verbindung)	saisonale oder tägliche Verkehrsbelastung, Gefährdungspotenzial vorhanden
R5	drei-/vierstreifige Straße (Verbindung)	keine Verkehrsbelastung, kein größeres Gefährdungspotenzial
R6	drei-/vierstreifige Straße (Verbindung)	keine Verkehrsbelastung, Gefährdungspotenzial vorhanden
R7	drei-/vierstreifige Straße (Verbindung)	saisonale oder tägliche Verkehrsbelastung, kein größeres Gefährdungspotenzial
R8	drei-/vierstreifige Straße (Verbindung)	saisonale oder tägliche Verkehrsbelastung, Gefährdungspotenzial vorhanden
S1	Autobahnkorridor oder Netzwerk	meist saisonale Verkehrsbelastung, mögliches Gefährdungspotenzial
S2	Autobahnkorridor oder Netzwerk	tägliche Verkehrsbelastung, mögliches Gefährdungspotenzial
N1	Straßenkorridor oder Netzwerk	meist saisonale Verkehrsbelastung, mögliches Gefährdungspotenzial
N2	Straßenkorridor oder Netzwerk	tägliche Verkehrsbelastung, mögliches Gefährdungspotenzial
P1	Peri-urbane Autobahn oder Straße mit Anschluss an städtisches Gebiet	mögliches Gefährdungspotenzial

Tab. 4-1 Betriebsumfelder für europäische IVS-Kerndienste
[EASYWAY 2012 a]

Angelehnt an diese EasyWay-Kategorisierung kommen die Netzbereiche der Kategorien S1 und S2 sowie die Streckenabschnitte der Kategorien T1 bis T4 für Netzbeeinflussungsmaßnahmen in Frage.

Wesentlich hierbei ist, dass die berücksichtigten Streckenabschnitte eine ausreichende Kapazität aufweisen und in der Lage sind, die zusätzlichen Verkehrsmengen im Falle einer Alternativroutenempfehlung abzuwickeln. Dabei spielt die Verfügbarkeit der einzelnen Streckenabschnitte eine wesentliche Rolle. In LISTL et al. 2015 wurden die unterschiedlichen Sichtweisen auf die Verfügbarkeit zusammengestellt, welche auch hier Berücksichtigung finden können. Für die Verfügbarkeit werden dabei drei Ebenen differenziert:

1. Verfügbarkeit als prinzipielle Nutzbarkeit:

In diesem Kontext wird Verfügbarkeit derart verstanden, dass keine dauerhaften Einschränkungen bezüglich des Zugangs / der Nutzbarkeit der Elemente des strategischen Netzes für alle oder einzelne Gruppen von Verkehrsteilnehmenden durch Verkehrszeichen gemäß § 41 StVO vorliegen, z. B.

- aufgrund der Trassierung (Steigung / Gefälle, Kurvenradien)
- von Fahrzeughöhen-, breiten- oder Tonnage-Beschränkungen oder
- von Restriktionen zum Schutz der Umwelt (Umweltzone, Lkw-Fahrverbote).

2. Grundverfügbarkeit:

Als Grundverfügbarkeit wird die durchschnittliche Verfügbarkeit bei uneingeschränktem Straßenangebot und den für den Fahrtzweck jeweils vorherrschenden Verkehrsverhältnissen betrachtet. Dargestellt werden können diese Verkehrsverhältnisse z. B. in Form von Referenzganglinien.

3. Operative Verfügbarkeit:

Die operative Verfügbarkeit ist die durch Maßnahmen des Arbeitsstellen- oder des Verkehrsmanagements beeinflusste Grundverfügbarkeit.

Für die Verwendbarkeit in der Netzbeeinflussung kann die Verfügbarkeit auf der ersten Ebene als gegeben vorausgesetzt werden. Zur Gewährleistung einer Grundverfügbarkeit ist die Berücksichtigung der jeweils

vorherrschenden Fahrtzwecke in den einzelnen Streckenabschnitten von Vorteil. Eine Übersicht relevanter Fahrtzwecke, betroffener Streckenabschnitte und zugehöriger Zeiträume von Belastungsspitzen findet sich in Tab. 4-2.

Damit die operative Verfügbarkeit beurteilt werden kann, sollten für eine Netzbeeinflussung nur Streckenabschnitte des strategischen Netzes berücksichtigt werden, die über eine ausreichende Verkehrsdatenerfassung verfügen, um die aktuelle Verkehrslage zu detektieren und Störungen im Netz zu erkennen. Hierfür kann der in Tab. 4-2 aufgeführte Kriterienkatalog zur Orientierung dienen.

Fahrtzweck Ereignis	Belastungsspitzen	Funktionale Bedeutung	Relevante Teile des Straßennetzes
Berufsverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • wochentags • morgens & nachmittags 	(gerichtete) regionale Verbindung	<ul style="list-style-type: none"> • Autobahnabschnitte in Ballungsraumnähe • Klassifizierte Straßen außerorts • Hauptverkehrsstraßen im städtischen Netz als Zubringer/Verteiler
Transitverkehr (Pkw)	<ul style="list-style-type: none"> • wochentags • ganztägig 	Korridor	<ul style="list-style-type: none"> • ausschließlich Autobahnen mit Bedarfsumleitungsstrecken für das Rerouting
Güterfernverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • wochentags • ganztägig 	Korridor	<ul style="list-style-type: none"> • ausschließlich Autobahnen mit Bedarfsumleitungsstrecken für das Rerouting
Güternahverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • wochentags • ganztägig 	(gerichtete) regionale Verbindung	<ul style="list-style-type: none"> • Autobahnabschnitte in Ballungsraumnähe • Klassifizierte Straßen außerorts • Hauptverkehrsstraßen im städtischen Netz
Freizeitverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • Wochenende • ganzjährig (wetterabhängig) 	(gerichtete) überregionale Verbindung	<ul style="list-style-type: none"> • Autobahnabschnitte im Ballungsraum • Klassifizierte Straßen zu dem/n Naherholungsgebiet(en) im Umland
Ferienverkehr	<ul style="list-style-type: none"> • Wochenende • saisonal 	Korridor	<ul style="list-style-type: none"> • ausschließlich Autobahnen mit Bedarfsumleitungsstrecken für das Rerouting
Veranstaltung	<ul style="list-style-type: none"> • ein/mehrere feste Tage 	eindeutige Quelle-Ziel-Verbindung	<ul style="list-style-type: none"> • je nach Art des Ereignisses hauptsächlich Streckenabschnitte im Zuflussbereich (ggf. im Abflussbereich) des Ereignisortes
Ereignisse <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsstellen • Unfall • Panne • Wetterereignis 	<ul style="list-style-type: none"> • fester Zeitpunkt, zeitlich begrenzt 	Ableitungsfunktion im Notfall	<ul style="list-style-type: none"> • alle im Bedarfsfall unverzichtbaren Alternativrouten, die außerhalb des eigentlichen strategischen Netzes liegen aber aus Gründen der Erreichbarkeit, z. B. bei temporären Sperrungen, genutzt werden müssen

Tab. 4-2 Kriterienkatalog zur Definition fahrtzweckspezifischer Netze [LISTL et al. 2015]

Startpunkte für die Netzmaschendefinition stellen die Autobahnkreuze und -dreiecke dar. In einem weiteren Schritt muss die bestehende statische Wegweisung (sogenannte „Blaubeschilderung“) berücksichtigt werden. Anhand dieser Beschilderung lässt sich von jedem Punkt im Netz ausgehend bestimmen, welche möglichen Routen es im Autobahnnetz zu einem ausgewählten Fernziel gibt. Bei dieser Analyse ist die Kontinuität der Wegweisung zu gewährleisten. Das heißt, es ist notwendig, dass ein Zielpunkt bzw. Zielgebiet, sobald es auf einer Strecke erstmals in der Wegweisung gezeigt wurde, im weiteren Streckenverlauf bis zum Erreichen des Ziels an allen Entscheidungspunkten wiederholt wird.

Aufbauend auf die Blaubeschilderung ist eine Liste zu erstellen, die alle Fernziele beinhaltet, welche für eine mögliche Umleitung zu berücksichtigen sind. Als Anhaltspunkt für die Erstellung dieser Liste können folgende Punkte herangezogen werden:

- Fernziele aus der Blaubeschilderung (innerhalb und außerhalb des Zuständigkeitsbereichs)
- definierte Oberzentren gemäß des Systems der zentralen Orte innerhalb des Zuständigkeitsbereiches
- relevante Mittelzentren, die sich in unmittelbarer Nähe der einzelnen Autobahnkreuze und -dreiecke befinden

In einem weiteren Schritt sind jedem Entscheidungspunkt die jeweils naheliegenden Fernziele zuzuordnen, welche für die Anzeige einer Routenempfehlung relevant sind. In Abhängigkeit der Annäherungsrichtung an einen Entscheidungspunkt können einem Entscheidungspunkt ggf. mehrere Fernziele zugeordnet werden.

Von jedem Entscheidungspunkt als Startpunkt werden mögliche Netzmaschen, bestehend aus Normal- und Alternativroute, zu den jeweiligen Endpunkten bzw. deren zugeordneten Fernzielen definiert. Die Normalroute dieser Netzmasche beschreibt i.d.R. die empfohlene Route zum Fernziel, sofern im Netz keine Störungen bestehen, und entspricht der Wegweisung der Blaubeschilderung ab dem Entscheidungspunkt. Die Alternativroute der Netzmasche stellt eine mögliche Umleitungsstrecke dar, die genutzt werden soll, falls eine maßgebliche Störung auf der Normalroute vorliegt. Auf dieser Alternativroute ist es zumeist nicht möglich, die gleichen Fernziele wie auf der Normalroute allein mit Hilfe der Blaubeschilderung zu erreichen. Daher wird im Bedarfsfall eine entsprechende Anzeige von Informationen zum Routenverlauf der vorgesehenen Alternativroute notwendig (entweder über eine substitutive Wechselwegweisung oder über dWiSta-Anzeigen). Für die Auswahl der Alternativroute sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Die Routenführung der Alternativroute sollte nur Streckenabschnitte verwenden, welche eine ausreichende Grundverfügbarkeit aufweisen.
- Es sollten i.d.R. nur Alternativrouten verwendet werden, welche über max. drei verschiedene Autobahnen verlaufen.
Der Routenverlauf der Alternativroute muss dem Verkehrsteilnehmenden am Startpunkt angezeigt werden können. Auf dWiSta-Anzeigen mit drei Textzeilen können nur Routen mit max. zwei Autobahnwechsellinien (inkl. des Autobahnwechsels am Startpunkt der Netzmasche) vollständig angezeigt werden. Diese Einschränkung ist bei Verwendung von LED-Vollmatrix-Anzeigen zwar nicht mehr gegeben, zur Gewährleistung der Verständlichkeit und Verarbeitbarkeit der angezeigten Informationen für den Verkehrsteilnehmenden sollten jedoch nicht mehr als drei Routing-Informationen weitergegeben werden.
- Sollte eine Alternativroute über mehr als drei Autobahnen verlaufen, so muss zur Gewährleistung der Durchgängigkeit der Wegweisung (Kontinuitätsregel) im Verlauf der Alternativroute entweder das Fernziel der Netzmasche spätestens am zweiten Autobahnwechsel in der Blaubeschilderung enthalten sein oder es muss eine weitere Anzeigemöglichkeit vorhanden sein (dWiSta), auf der der weitere Verlauf der Alternativroute für den Verkehrsteilnehmenden angezeigt werden kann.

Auf diese Weise werden für eine Netzmasche alle Fernziele und mögliche Alternativrouten bestimmt, die bei einer Umleitungsempfehlung am Entscheidungspunkt dieser Netzmasche angezeigt werden können. Die Fernziele befinden sich entweder in unmittelbarer Nähe zum Endpunkt der jeweiligen Netzmasche oder können über die vom Endpunkt (Autobahnkreuz oder -dreieck) der Netzmasche weiterführenden Autobahnen erreicht werden.

Bei Anwendung der oben beschriebenen Vorgehensweise auf alle Entscheidungspunkte im Zuständigkeitsbereich resultiert eine Komplettübersicht aller theoretisch möglichen Netzmaschen. Zur Festlegung einer Priorisierung von Netzmaschen sollten folgende Punkte betrachtet werden:

- Verfügbarkeit der Streckenabschnitte aus Sicht der Infrastruktur
Neben der bereits beschriebenen Grundverfügbarkeit haben die zu erwartenden Einschränkungen aufgrund von regelmäßigen Überlastungen oder auch witterungsbedingte Einschränkungen (stark windbelastete Streckenabschnitte vor allem mit hohen Brücken) einen Einfluss auf die Nutzbarkeit von Streckenabschnitten als Alternativroute.
- Lage relevanter Fernziele und strategischer Punkte
Die Lage der in den Netzbeeinflussungsmaßnahmen adressierten Fernziele in Relation zur Netzmasche hat einen Einfluss auf das Beeinflussungspotenzial und den Befolgungsgrad. Werden in den Netzmaschen strategische Punkte adressiert, die sich innerhalb bzw. am Ende der Netzmasche befinden, so ist eine andere Relevanz für den Gesamtverkehr zu erwarten als für Fernziele, welche sich weiter entfernt außerhalb der Netzmasche befinden.
- Verkehrszusammensetzung
Das Beeinflussungspotenzial durch Netzbeeinflussungsmaßnahmen ist abhängig von der Verkehrszusammensetzung innerhalb des betrachteten Netzes. Hierbei spielen die Anteile von Pkw und Lkw am Gesamtverkehr eine Rolle. Darüber hinaus ist die Verteilung zwischen lokalem, regionalem und Fernverkehr maßgebend für die Bedeutung der Netzmasche.

- weitere Steuerungs-/ Beeinflussungsmöglichkeiten
Das Vorhandensein von weiteren Verkehrsbeeinflussungsmaßnahmen im Bereich des Streckennetzes der Netzbeeinflussung (durch begleitende Systeme wie Streckenbeeinflussungsanlagen – SBA, die Temporäre Seitenstreifenfreigabe – TSF, Zuflussregelungsanlagen – ZRA und Knotenbeeinflussungsanlagen – KBA) führt bei entsprechender Koordinierung dazu, dass die angestrebten Verkehrsmanagementziele der Netzbeeinflussung besser umgesetzt werden können. Dies kann zum einen dadurch hervorgerufen werden, dass die zusätzlichen Maßnahmen bereits bei der Ausweisung einer Alternativroute aktiviert (proaktiv) oder aber erst bei Eintreten der relevanten Einschaltkriterien (reaktiv) angewendet werden.
- Prognosefähigkeit des Situationserkennungsverfahrens
Vor allem für größere Netzmaschen ist es wichtig, dass bei der Weitergabe von Alternativroutenempfehlungen an den Verkehrsteilnehmenden sichergestellt ist, dass die zugrundeliegende Störung zum Zeitpunkt des Erreichens des Störungsortes auf der Normalroute noch relevant ist.
- Überschneidung mit anderen Netzmaschen
Aufgrund der Komplexität der Netzbeeinflussung resultiert in vermaschten Netzen eher ein Netzmanagement in Teilen des berücksichtigten Netzes als in einer separaten Beeinflussung einzelner Netzmaschen.

4.2 Überblick möglicher Wirkungskomponenten

In Kapitel 3 wurde dargestellt, welche Ansätze derzeit in der Praxis sowie in der Literatur sowohl im Kontext von Konzeption/Planung als auch von Betrieb/Operating für die Ermittlung der Wirksamkeit von Netzbeeinflussungsmaßnahmen verwendet werden. Dabei stehen immer die nachweisbaren Effekte einer Netzbeeinflussungsmaßnahme im Vergleich zu ihrem Verzicht im Zentrum der Betrachtung.

An dieser Stelle sollen die verschiedenen Wirkungskomponenten, die für die Anwendung einer Netzbeeinflussungsmaßnahme denkbar sind, dargestellt werden. Diese Wirkungskomponenten beschreiben dabei in Ihrer Gesamtheit die erzielte Wirkung einer Netzbeeinflussungsmaßnahme. Sie repräsentieren also einzelne Teilbereiche der erzielbaren Wirkung, die Ausgangspunkt für eine Nutzenermittlung sein können.

Mit Netzbeeinflussungsanlagen, in die dWiSta-Anzeigesysteme integriert werden, besteht die Möglichkeit, Wirkungen sowohl mit der Übermittlung von Informationen zur Verkehrslage auf der Normalroute (ggf. auch auf einer Alternativroute) (Maßnahmenanteil „Information“) als auch mit einer Umleitungsempfehlung zu erzielen (Maßnahmenanteil „Lenkung“). Netzbeeinflussungsanlagen, die mit einem substitutiven Ansatz bei der Zielführung agieren, haben prinzipiell zunächst keine Wirkungskomponenten durch die Übermittlung von Informationen, sondern erzielen ein Wirkungspotenzial vorrangig aus dem Maßnahmenanteil „Lenkung“.

Eine Interaktion der Verkehrsteilnehmenden mit Netzbeeinflussungsmaßnahmen für eine Netzmasche findet nicht nur durch Anzeigesysteme im Zulauf auf relevante Entscheidungspunkte im Autobahnnetz statt. Die Beurteilung einer Verkehrssituation innerhalb einer Netzmasche wird in der Regel durch weitere Informationsquellen, die dem Verkehrsteilnehmenden in seinem Fahrzeug zur Verfügung stehen, ergänzt. Insbesondere die über den Rundfunk verbreiteten Verkehrsmeldungen (RDS-TMC) und die bei der Zielführung in Navigationssystemen agierenden Algorithmen erlauben es dem Verkehrsteilnehmenden, für seine Entscheidungen auf verschiedene Grundlagen zurückzugreifen. Das größtmögliche Maß an Wirkung kann erzielt werden, wenn die Differenzen zwischen den Informationen und Lenkungsempfehlungen minimiert werden und damit die in diesen Informationssystemen zugrundeliegenden Maßnahmen zur Netzbeeinflussung aufeinander abgestimmt sind.

Durch die unterschiedliche Informationslage der Verkehrsteilnehmenden am Entscheidungspunkt (vorhandene Informationen der NBA oder von anderen Informationsquellen) lassen sich Teilkollektive bilden, mit denen sich das Beeinflussungspotenzial für die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung und für die Weitergabe einer Störungsinformation in der Netzbeeinflussung beschreiben lässt (siehe Bild 4-1). Die Verkehrsteilnehmenden können über die Verkehrssituation (Störung im Netz) und mögliche Empfehlungen durch die NBA, über andere Informationsquellen oder sowohl über die NBA und andere Quellen informiert werden (Zeilen 1 und 2 in Bild 4-1). In Abhängigkeit der Lage der Störung und dem Fahrtziel des Verkehrs-

teilnehmenden sind die Informationen über die Störung als auch die angezeigte Alternativroutenempfehlung der NBA relevant für die weitere Routenwahl (Zeilen 3 und 4 in Bild 4-1). Das Beeinflussungspotenzial für die Anzeige einer Störungsinformation umfasst dabei alle Verkehrsteilnehmenden, die auf ihrer geplanten Route von der Störung betroffen sind. Verkehrsteilnehmende, die ihr Fahrtziel ausgehend vom Entscheidungspunkt über die in der NBA ausgewiesene Alternativroute erreichen können, stellen das Beeinflussungspotential für die Ausweisung der Alternativroutenempfehlung dar.

Werden zur Ermittlung des Befolgungsgrades (Nutzung der durch die NBA ausgewiesenen Alternativroute) die Veränderungen der Verkehrszahlen am Entscheidungspunkt herangezogen, so ist bei der Wirkungsanalyse zu differenzieren, inwieweit eine eindeutige Wirkungsordnung möglich ist. Sofern mehrere Informationsquellen die Netzbeeinflussungsmaßnahme an die Verkehrsteilnehmenden weitergeben, können sich die Wirkungen einzelner Informationsquellen überlagern und eine eindeutige Zuordnung erschweren. Eine Änderung der genutzten Route kann dabei aus der angezeigten Alternativroutenempfehlung der NBA (mit eindeutiger Wirkungsordnung zur NBA), auf Grundlage anderer Informationsquellen (Wirkung außerhalb der NBA), oder auch als Resultat der Gesamtheit der vorliegenden Informationsquellen (Wirkungsordnung nicht eindeutig möglich) hervorgerufen werden.

Die hierfür relevanten Zusammenhänge sind in Bild 4-1 dargestellt.

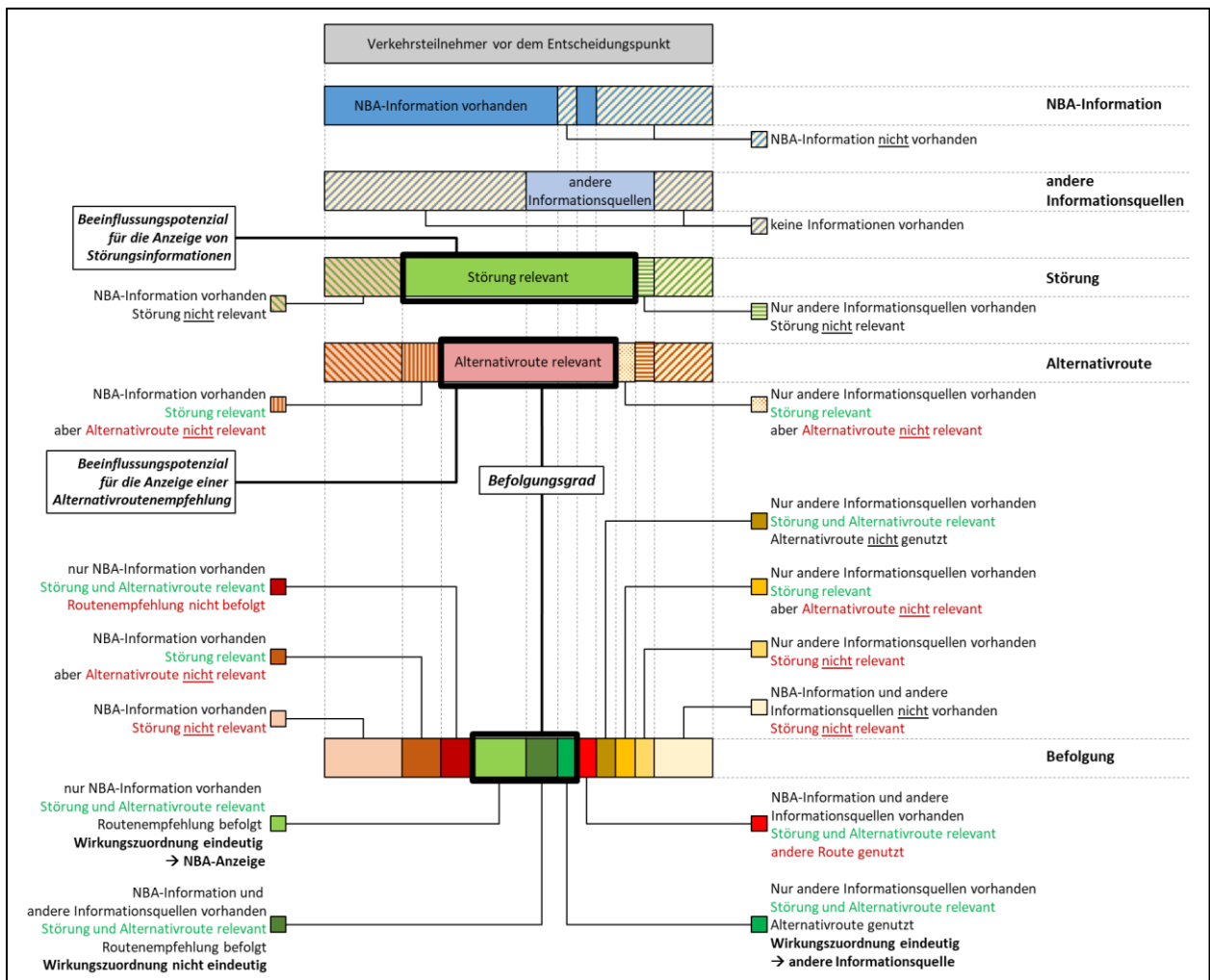


Bild 4-1 Zusammenhänge der Einflussgrößen zur Bestimmung von Beeinflussungspotenzial und Befolgungsgrad

Für die Erzielung eines Optimums ist es deshalb wesentlich, dass kollektive und individuelle Informationen und Zielführungsphilosophien abgestimmt erfolgen.

4.2.1 Verkehrsbeeinflussung durch den Maßnahmenteil „Lenkung“

In diesem Kontext wird die Ausprägung der Wirkungskomponenten einer Netzbeeinflussungsmaßnahme im Wesentlichen durch die Störungsereignisse auf der Normalroute und die Restkapazitäten auf der Alternativroute beeinflusst. Für die Praktikabilität einer Umlenkung zum Zeitpunkt der Entscheidung sind diese Elemente von zentraler Bedeutung, wobei der tatsächliche Zeitvorteil auf der Alternativroute dann auch vom Umwegfaktor abhängt.

Die Schlüssigkeit der mit der Netzbeeinflussungsmaßnahme verbreiteten Informationen ist dabei bei kleinen Netzmaschengrößen und entsprechend geringen absoluten Fahrtzeitwüchsen auf der Alternativroute weniger entscheidend als bei großen Netzmaschen, in denen sich für die Alternativroute aufgrund der absoluten Streckenlänge deutliche Fahrtzeitwüchse gegenüber der Fahrt auf der Normalroute im ungestörten Zustand ergeben. Der Begründung der Ausweisung einer Alternativroute gegenüber den Verkehrsteilnehmenden kommt deshalb große Bedeutung zu. Dabei scheint eine Erklärung über die Zeitersparnis in Verbindung mit der Darstellung des Störungsumfangs eine zielführende Kombination zu sein, da die Zeitersparnis als maßgebliches Element für die Routenwahl gilt.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Zusammensetzung des Kollektivs von Verkehrsteilnehmenden, welche das Beeinflussungspotential repräsentieren. Der Anteil der Verkehrsteilnehmenden mit geringen Fahrtweiten steht häufig in Verbindung mit regelmäßig durchgeführten Fahrten, wie sie beispielsweise in Ballungsräumen während des Berufsverkehrs durch Pendler auftreten. Der Anteil mit großen Fahrtweiten ist dagegen häufig geprägt durch ein geringeres Maß an Regelmäßigkeit bei der Durchführung. Insbesondere in der ersten Gruppe der Verkehrsteilnehmenden ist deshalb das Maß an Informiertheit über die Verkehrssituation und auch über die Gesamtzusammenhänge im verfügbaren Straßennetz höher. Dieses Maß an Informiertheit nimmt mit wachsenden Fahrtweiten ab. Zudem sind regelmäßig wiederkehrende Kapazitätsengpässe anders zu bewerten als einzelne Störungsereignisse, bspw. infolge von Unfällen oder Arbeitsstellen (hier spielt dann vor allem die Dauer der Störung und der Ort der Störung im Netz eine wesentliche Rolle).

Für den Befolgungsgrad einer Netzbeeinflussungsmaßnahme im Maßnahmenteil Lenkung spielen deshalb der räumliche Umwegfaktor, mit dem die reine Fahrtstrecke mit ihrer Länge betrachtet wird, und der zeitliche Umwegfaktor, mit dem der zusätzliche Zeitbedarf auf der Alternativroute beschrieben wird, sowie die Schlüssigkeit der Informationen und die Zusammensetzung des Beeinflussungspotentials eine Rolle. Ihre Notwendigkeit wird geprägt durch Häufigkeit und die Ausprägung einer Störung auf der Normalroute.

Zudem ergeben sich durch die für die Netzbeeinflussung regelmäßig erhobenen Verkehrsdaten, die als Grundlage für die Steuerung dienen, auch für andere Zwecke im Bereich der Autobahnen zusätzliche Anwendungen.

4.2.2 Verkehrsbeeinflussung durch den Maßnahmenteil „Information“

Aus den in einer Netzbeeinflussungsmaßnahme verfügbaren Verkehrsdaten aus einem stationären lokalen Erfassungssystem oder aus streckenbezogenen Daten lassen sich auch weitere Informationen generieren, die an die Verkehrsteilnehmenden übermittelt werden können und das Verhalten beeinflussen. Diese Zusatzinformationen (bspw. die Anzeige eines Fahrtzeitvorteils, Fahrtzeitvergleiche oder die Anzeige von Störungsort, Verlustzeit und / oder Staulänge) haben Einfluss auf Fahrverhalten und Routenentscheidung durch die Verkehrsteilnehmenden.

Neben dem Einfluss auf den Befolgungsgrad für eine Alternativroutenempfehlung (vgl. Kapitel 4.2.1) erhöhen die Informationen auch den Grad der Informiertheit der Verkehrsteilnehmenden. Dabei werden auch diejenigen Verkehrsteilnehmenden auf die besondere Situation auf der Normalroute hingewiesen, die nicht zum Beeinflussungspotential im eigentlichen Sinne der Alternativroutenempfehlung gehören. Hierzu zählen die Verkehrsteilnehmenden, die nur einen Teilabschnitt auf der Normalroute befahren würden. Verkehrsteilnehmende, die ihr Ziel im Zuge der Normalroute über eine Anschlussstelle stromabwärts eines gestörten Streckenbereiches erreichen wollen, können ggf. auch die Alternativroute wählen. Zudem können auch weitere Verkehrsteilnehmende, deren Ziel über die Normalroute erreicht wird, Vorteile dadurch erfahren, dass sie mit der Information zu Störungsort und Staulänge entscheiden können, wie lange sie auf der Normalroute verbleiben, bis sie auf eine Route im nachgeordneten Straßennetz wechseln. Die benannten Verkehrsteilnehmenden würden in diesem Fall von den zusätzlichen Informationen profitieren, die an dWiSta-

Anzeigen übermittelt werden. Es wird vermutet, dass das hierdurch erreichbare Teilkollektiv bei größeren Netzmaschen und mit zunehmender Größe und Bedeutung von verkehrsrelevanten Zielen entlang der Normalroute zunimmt.

Allerdings werden besonders im nachgeordneten Straßennetz der Autobahnen, bspw. im Zuge der Bedarfsumleitungen, durch die so getroffenen individuellen Entscheidungen der Verkehrsteilnehmenden in diesem Teilkollektiv sensiblere Siedlungs- und Naturräume durch das steigende Verkehrsaufkommen höher belastet. Das Einbeziehen von Betroffenheiten, bspw. dargestellt durch die Anzahl betroffener Anwohner oder durch die zunehmende Belastung geschützter Naturräume könnte hier ein Ansatz sein.

Es bleibt aber auf Basis der derzeitigen Erkenntnisse offen, welchen Umfang dieser Wechsel haben kann, da dieses durch die Individualität der Entscheidung des Einzelnen geprägt wird.

Offen bleibt auch, welche Wirkung die Ausweisung einer Alternativroute im Störfall auf dieses individuelle Verhalten haben kann. So ist prinzipiell zu erwarten, dass bei Störungen gleichen Ausmaßes ohne eine Alternativroutenempfehlung das genannte Teilkollektiv größer ist als im Störfall mit einer Alternativroutenempfehlung, und somit die NBA hier auch eine positive Wirkung haben kann. Allerdings sind die Einflussgrößen auf diesen Effekt von individuellen Entscheidungen geprägt, für deren Nachbildung es bisher keine Ansätze gibt.

Das im Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse abzubildende System von Straßennetz und Verkehrsteilnehmenden wird im Rahmen dieses Forschungsprojektes auf das Netz der Autobahnen bezogen, so dass die potenziell zu erwartenden Effekte auch für das nachgeordnete Straßennetz im Verfahren selbst nicht abgebildet werden müssen. Letztendlich sollte das Verfahren aber so modular aufgebaut sein, dass bei ausreichenden Kenntnissen zu diesen Zusammenhängen die Wirkungen im nachgeordneten Straßennetz zusätzlich einbezogen werden können.

4.2.3 Mögliche Wirkungskomponenten

Unter Beachtung dieser grundsätzlichen Randbedingungen lassen sich die folgenden Wirkungskomponenten heranziehen:

- Änderung der Zeitkosten für die von der Störung direkt betroffenen Verkehrsteilnehmenden
- Änderung der Staukosten für die von der Störung direkt betroffenen Verkehrsteilnehmenden
- Änderung des Grades der Informiertheit der von der Störung direkt betroffenen Verkehrsteilnehmenden
- Einfluss auf das Unfallgeschehen durch Änderung des Umfanges von potenziell kritischen Situationen im Gesamtsystem von Normal- und Alternativroute für die von der Störung direkt betroffenen Verkehrsteilnehmenden
- Änderung der Lärmemissionen im Gesamtsystem von Normal- und Alternativroute
- Änderung der Schadstoffemissionen im Gesamtsystem von Normal- und Alternativroute
- Änderung des Kraftstoffverbrauchs im Gesamtsystem von Alternativ- und Normalroute
- Änderung bei der Basis zur Entscheidungsfindung zur Nutzung der Alternativ- oder Normalroute im Störfall
- Änderung der Datengrundlage für Aufgaben im Bereich Planung/Konzeption und Betrieb/Operating (bspw. durch NBA mit hierfür notwendiger laufender Datenerfassung)

Neben Wirkungskomponenten im Bereich der direkten Auswirkungen durch das Verkehrsaufkommen (Betriebs- und Zeitkosten, Emissionen und Unfallgeschehen) sind dabei auch Wirkungskomponenten aufgeführt, die letztendlich eine Folge der durch die NBA beeinflussten Nutzung einer Straßenverkehrsanlage darstellen. So könnten im Straßenentwurf bereits die betrieblichen Aspekte einer NBA berücksichtigt werden und damit die tatsächliche Straßenverkehrsanlage wirtschaftlicher dimensioniert werden als ohne diese betriebliche Maßnahme. Insbesondere in Zeiten des Spitzenverkehrsaufkommens kann durch Netzbeeinflussungsmaßnahmen dann die tatsächliche Dimensionierung ggf. verringert werden. Bisher finden

aber NBA als gleichberechtigte betriebliche Maßnahme gegenüber baulichen Anpassungen keinen Eingang in die Dimensionierung.

5 Wirksamkeitsanalyseverfahren

5.1 Herleitung notwendiger Grundlagen

Die Charakteristik der Netzmaschen hat einen Einfluss auf die erzielbaren Wirkungen von Netzbeeinflussungsmaßnahmen. So ist bei großen Netzmaschen u.a. zu erwarten, dass das Beeinflussungspotential geringer ist als bei kleinen Netzmaschen.

Um sich diesem Zusammenhang anzunähern, wurde die Datenlage im Netzmodell Bundesfernstraßen [NEMOBFSTR 2021], welches durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) für die Bundesverkehrswegeplanung regelmäßig fortgeschrieben wird, analysiert. Das Netzmodell bildet den Ausbauzustand 2030 ab.

Für die Beschreibung einer Netzmasche wurden zunächst die Längen der Netzabschnitte zwischen hochrangigen Knotenpunkten innerhalb des Autobahnnetzes ermittelt. Im Netzmodell (Stand 2030) existieren im Autobahnnetz insgesamt 517 Netzabschnitte. Folgende Netzabschnitte wurden in der weiteren Betrachtung ausgeschlossen:

- Netzabschnitte, die den Übergang vom Autobahnnetz in das nachgeordnete Netz repräsentieren
- Netzabschnitte, die den Übergang zum Straßennetz der europäischen Nachbarländer darstellen

Somit verbleiben für die weiteren Betrachtungen 345 Netzabschnitte, die an beiden Enden entweder durch ein Autobahnkreuz (AK) oder ein Autobahndreieck (AD) begrenzt werden.

Bild 5-1 zeigt die Einordnung der Netzabschnitte in Cluster der Abschnittslänge. Bis zu einer Abschnittslänge von 30 km wurden die Cluster mit einer Spreizung von 5 km eingeteilt, darüber wurden die Cluster erweitert auf eine Spreizung von 10 km.

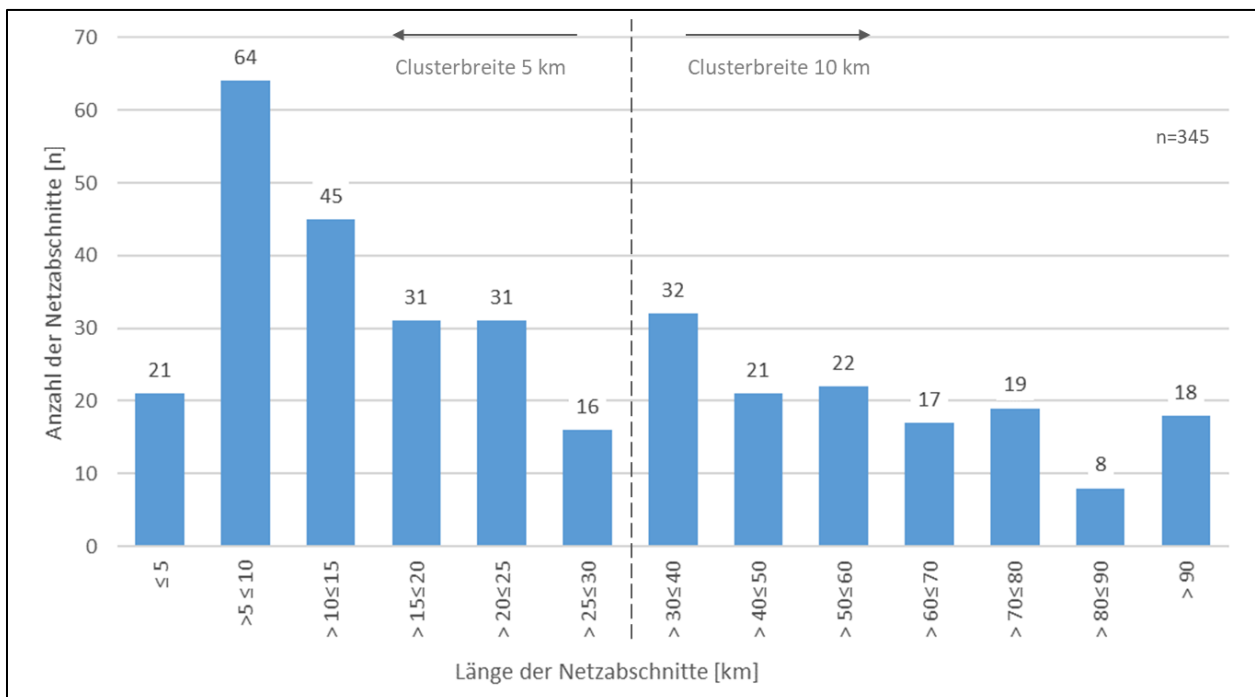


Bild 5-1 Länge der Netzabschnitte zwischen AK / AD (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass die Netzabschnitte kürzerer Länge bis ca. 10 km in der Regel in Ballungsräumen (Raumtyp 1) oder in deren direktem Umfeld (Raumtyp 2) liegen. Der Raumtyp 1 ist dabei geprägt durch eine flächenhafte Siedlungsstruktur. Netzabschnitte innerhalb dieses Raumtyps werden auch von Verkehrsteilnehmenden regelmäßig über den Tagesverlauf für Wege benutzt, deren Anfang und

Ende innerhalb des Ballungsraumes liegt. Der Raumtyp 2 repräsentiert Randbereiche von Ballungsräumen. Auf Netzabschnitten in diesem Raumtyp prägen häufig Pendlerbewegungen als Interaktion zwischen Umland und Ballungsraum zeitweise das Verkehrsgeschehen. In den darüber liegenden Clustern können die Netzabschnitte weniger eindeutig nach der Struktur ihres Umfeldes differenziert werden. Mit wachsender Abschnittslänge nimmt aber der Anteil der Netzabschnitte, die vorrangig im ländlichen Raum (Raumtyp 3) liegen, deutlich zu. In diesem Raumtyp 3 stellen die Netzabschnitte eine wesentliche Komponente zur Gewährleistung der Erreichbarkeit von durch eine geringere Einwohnerdichte geprägten Räumen dar. Mit wachsender Netzabschnittlänge wird eine klare Zuordnung des Netzabschnitts zu einem Raumtyp ungleich schwerer, da diese Netzabschnitte dann häufig durch verschiedene Raumtypen verlaufen. Die Anzahl von außergewöhnlich langen Netzabschnitten resultiert vorrangig aus Autobahnen, die über weite Strecken einzelne Ballungsräume verbinden (bspw. Ostseeautobahn A 20 oder A 92).

Bild 5-2 zeigt die Kumulierung über die gebildeten Cluster. Bei Längen bis maximal 15 km ergibt sich ein Anteil von 38 %. In der darüber liegenden Klasse bis maximal 30 km befinden sich 22 % der Netzabschnitte. Weitere 22 % lassen sich dem Bereich über 30 km bis maximal 60 km zuordnen. 18 % liegen in der Klasse mit Abschnittslängen von mehr als 60 km. Die hier dargestellte Klassifizierung der Netzabschnitte über deren Netzabschnittslänge wird auch im umfassenden Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse (siehe Kapitel 5.3) selbst genutzt.

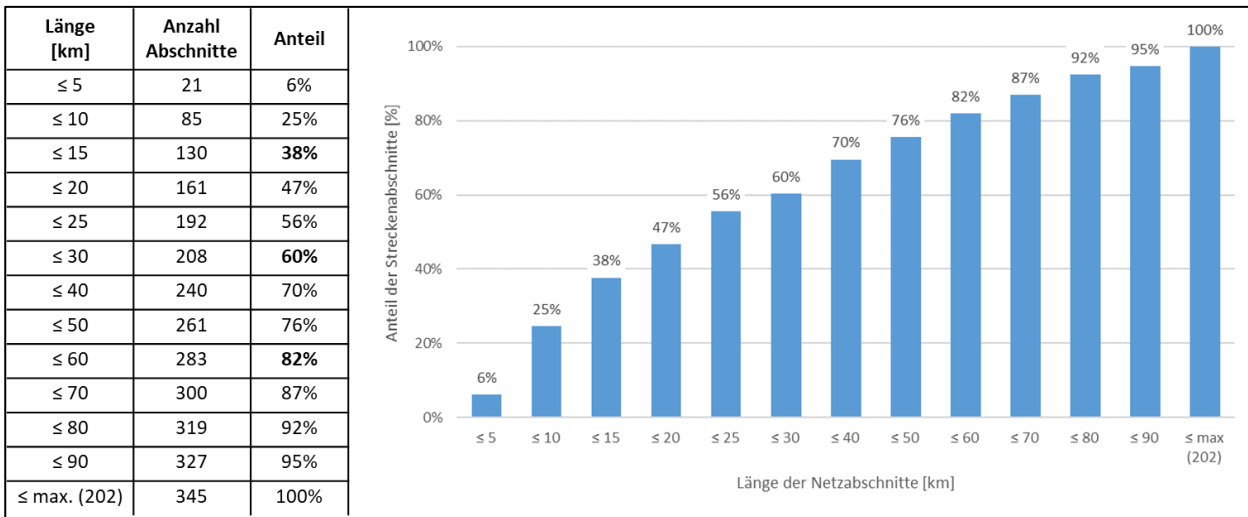


Bild 5-2 Länge der Netzabschnitte zwischen AK / AD, kumulativ (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

Ein weiteres Kriterium für die Charakteristik der Netzabschnitte ist die Anzahl der Anschlussstellen innerhalb der einzelnen Netzabschnitte. Bild 5-3 zeigt eine Verteilung der 345 Netzabschnitte differenziert nach der auf den Netzabschnitten liegenden Anzahl der Anschlussstellen. Netzabschnitte mit mehr als zehn Anschlussstellen wurden zu Gruppen zusammengefasst. In der letzten Gruppe sind Netzabschnitte mit einer außergewöhnlich hohen Anzahl von Anschlussstellen (mehr als 20) enthalten. Diese treten im Autobahnnetz selten auf. Beispiele enthält die Bild 5-3. Die höchste Anzahl ergibt sich bei Netzabschnitten mit drei Anschlussstellen, wobei die Netzabschnitte mit geringfügig weniger oder auch geringfügig mehr Anschlussstellen noch auf hohem Niveau, aber unterhalb des Maximalwertes (n=42) liegen. Die Anzahl in der Klasse mit einer Anschlussstellenanzahl zwischen 11 und 15 ist zwar auch relativ groß, repräsentiert aber insgesamt fünf verschiedene Typen in Bezug auf die Anzahl der Anschlussstellen und fällt deshalb hier nicht weiter ins Gewicht.

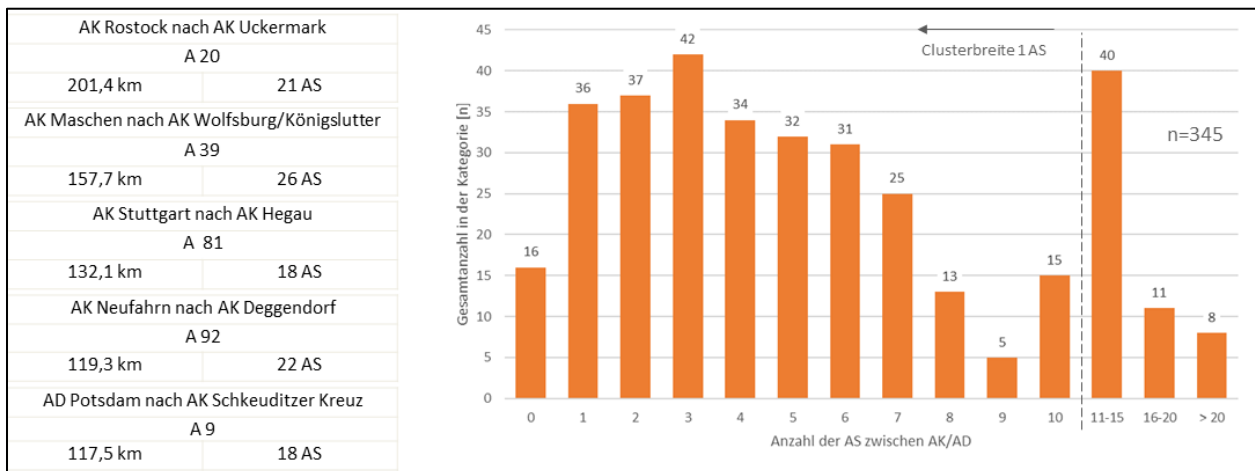


Bild 5-3 Beispiele für Netzabschnitte mit hoher AS-Anzahl (links) und Anzahl der AS auf Netzabschnitten zwischen AK / AD (rechts) (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

Als weitere Kenngröße zur Charakterisierung der Netzabschnitte aus dem Netzmodell wurde die durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte zwischen den Anschlussstellen ermittelt und in Cluster mit einer Spreizung von 1 km zusammengefasst. Nur in seltenen Fällen ergeben sich durchschnittliche Längen der Streckenabschnitte innerhalb der Netzabschnitte von mehr als 10 km. Der Schwerpunkt der durchschnittlichen Längen für die Streckenabschnitte liegt im Bereich zwischen 2 km und 5 km. In dieser Gruppe finden sich 177 Netzabschnitte (46 % der berücksichtigten Netzabschnitte) wieder. Bild 5-4 zeigt die daraus resultierende Häufigkeitsverteilung. In Bild 5-5 werden die Häufigkeiten kumuliert dargestellt.

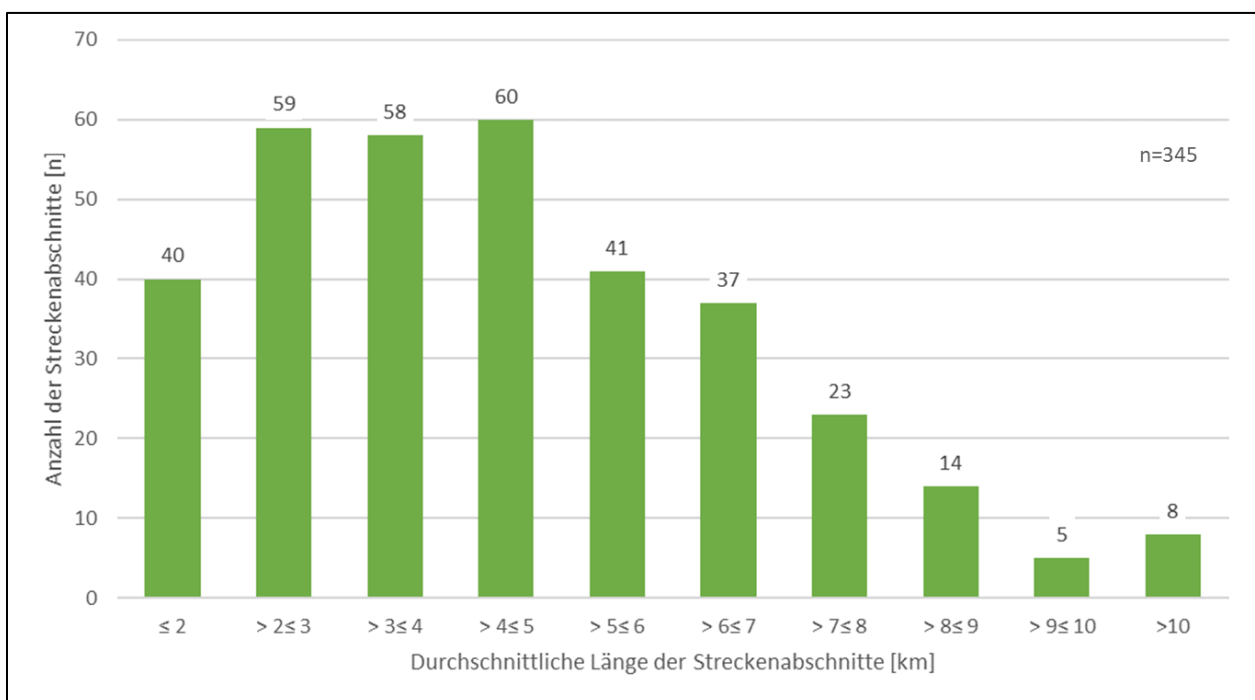


Bild 5-4 Durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte zwischen Anschlussstellen (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

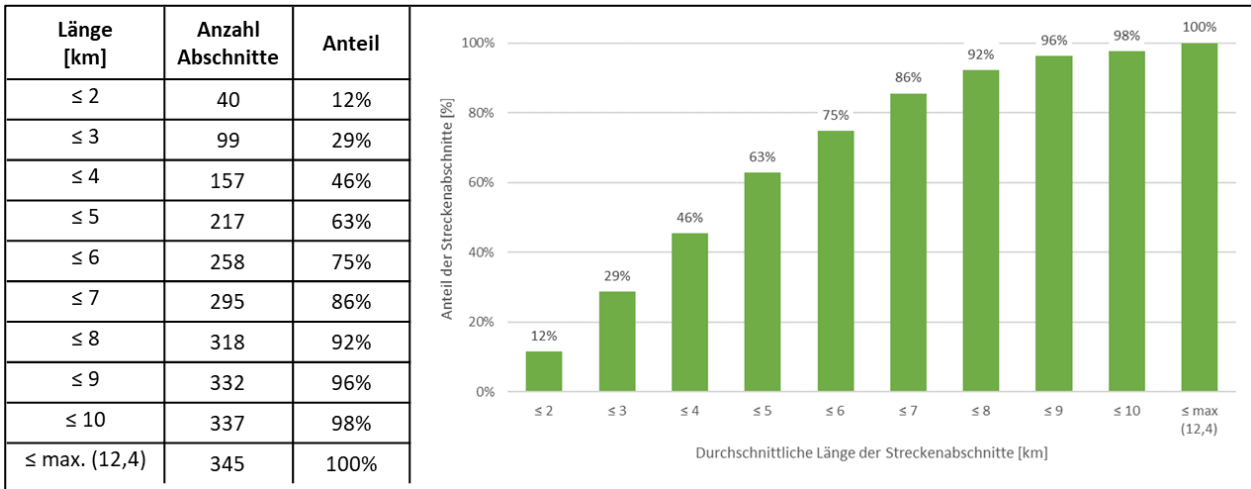


Bild 5-5 Durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte zwischen Anschlussstellen, kumulativ (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

Auf weitere Kriterien zur Differenzierung der Netzabschnitte wurde verzichtet. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere Netzabschnitte größerer Länge verschiedene Raumtypen durchlaufen, weshalb der Raumtyp als Beschreibungsgröße als nicht zielführend angesehen wurde. Zudem wird im Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse (vgl. Kapitel 5.3) mit dem Verkehrsaufkommen am Entscheidungspunkt, welches an den Anschlussstellen im Zuge des Netzabschnittes die Normalroute verlässt, die Grundlage für eine Kenngröße bei der individuellen Betrachtung der Netzmasche festgelegt, mit der auch die Bedeutung der einzelnen Anschlussstellen in Bezug auf die NBA beschrieben werden kann. Nach Einflussgrößen aus Linieneinführung und Querschnitt wird ebenfalls in Bezug auf die Netzabschnitte nicht differenziert, da dies erst bei der individuellen Betrachtung der jeweiligen Netzmasche im Rahmen des in Kapitel 5.3 beschriebenen umfassenden Verfahrens zur Wirksamkeitsanalyse von Bedeutung ist.

Die ermittelten Kenngrößen wurden in weiteren Betrachtungen zueinander in eine Abhängigkeit gesetzt. Bild 5-6 zeigt den Zusammenhang zwischen der Anschlussstellenanzahl und der Abschnittslänge der Netzabschnitte.

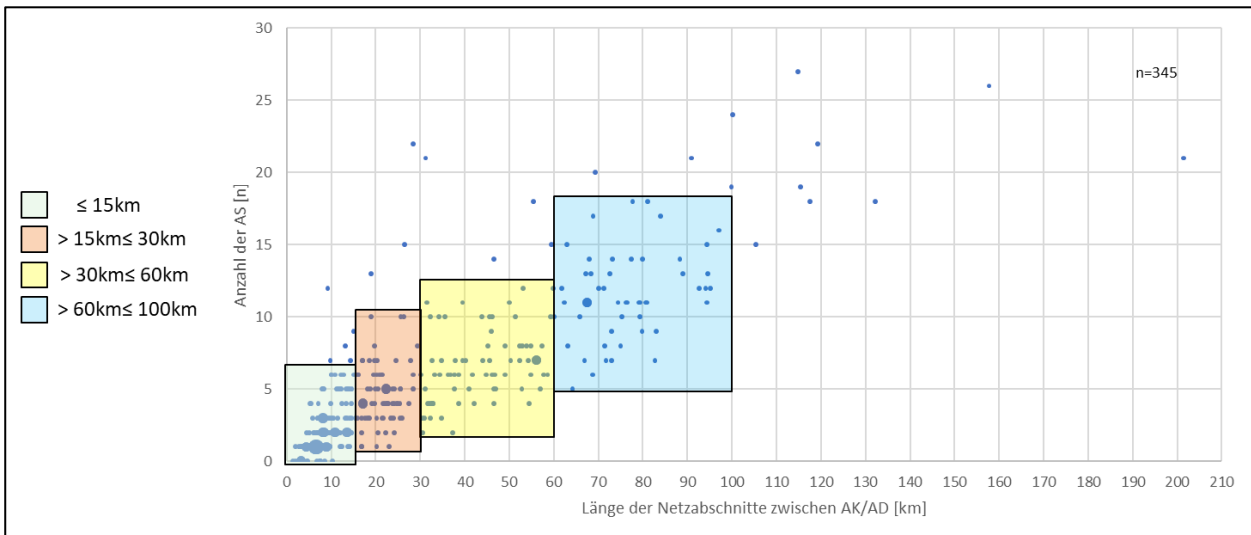


Bild 5-6 Zusammenhang zwischen der Anzahl der AS und Abschnittslänge zwischen AD / AK (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

Es zeigt sich, dass mit wachsender Abschnittslänge auch die Anzahl der Anschlussstellen zunimmt. In dieser Betrachtung wurden die bereits dargestellten Grenzen für die Clusterung von Netzabschnitten über ihre Länge berücksichtigt. Die ergänzenden horizontalen Grenzen dieser Bereiche für die Abschnittslänge wurden durch Ausschluss von 5 % der in diesen Bereichen liegenden Netzabschnitte gebildet, die am wei-

testen vom Schwerpunkt des Clusters entfernt sind. Dies sind ausschließlich Netzabschnitte mit einer hohen Anzahl von Anschlussstellen. Hierdurch wird das Gewicht der Ausreißer in diesen Clustern verringert. Netzabschnitte über 100 km wurden nicht weitergehend betrachtet, da die Anzahl der auf diese Gruppe entfallenden Netzabschnitte sehr gering ist. Auf den Bereich von Längen mit max. 15 km entfallen 125 Netzabschnitte (36 %). Im Bereich zwischen 15 km bis maximal 30 km liegen 75 Netzabschnitte (22 %), im Bereich zwischen 30 km und maximal 60 km 71 Netzabschnitte (21 %) und darüber weitere 50 Netzabschnitte (14 %).

In Bild 5-7 sind die durchschnittlichen Längen der Streckenabschnitte zwischen den Anschlussstellen und die Netzabschnittslänge zueinander ins Verhältnis gesetzt worden. Die Grenzen für die Clusterung über die Abschnittslänge wurden ebenfalls aufgenommen. Auch hier wurden horizontale Grenzen so gewählt, dass die extremen 5 % der in diesen Clustern der Abschnittslänge liegenden Netzabschnitte ausgeschlossen wurden, um den Einfluss von Ausreißern zu minimieren. Dies betrifft weit überwiegend Netzabschnitte mit großen durchschnittlichen Längen der Streckenabschnitte und nur selten Netzabschnitte mit kleinen durchschnittlichen Längen der Streckenabschnitte. Insgesamt können den vier Bereichen bei dieser Betrachtung ähnliche Anzahlen der Netzabschnitte zugeordnet werden.

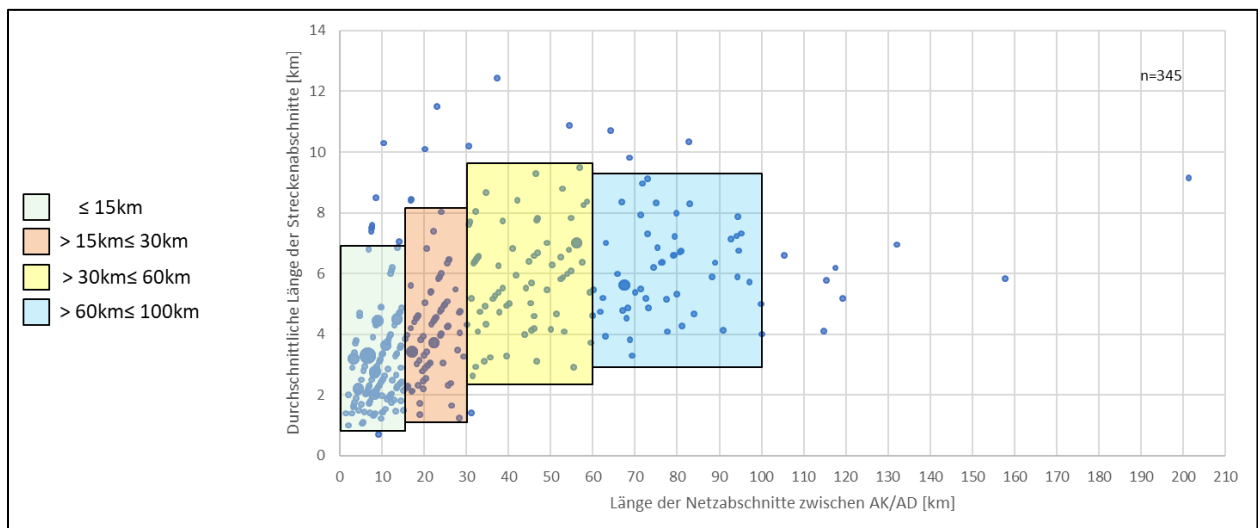


Bild 5-7 Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Länge von Streckenabschnitten zwischen Anschlussstellen und Netzabschnittslängen zwischen AD / AK (Netzmodell Bundesfernstraßen 2030)

5.2 Überblick zur Verfahrensentwicklung

Das Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse von NBA soll sowohl für eine Ex-Ante-Betrachtung (im Sinne einer Abschätzung) als auch für eine Ex-Post-Betrachtung (im Sinne einer Analyse) eingesetzt werden können. Der Verfahrensentwicklung selbst liegt zudem der Anspruch zugrunde, eine Systembetrachtung zu ermöglichen. Diese Betrachtungsweise beinhaltet, dass eine Netzbeeinflussungsanlage das Handeln Einzelner beeinflusst, die Auswirkungen durch das veränderte Handeln aber nicht nur auf diese einzelnen Verkehrsteilnehmenden, sondern auf das Gesamtsystem bezogen betrachtet werden müssen, da möglicherweise auch auf Andere Auswirkungen ausgeübt werden.

In Bild 5-8 sind die für die Verfahrensbeschreibung relevanten Unterscheidungen der Verkehrsteilnehmenden zusammenfassend dargestellt.

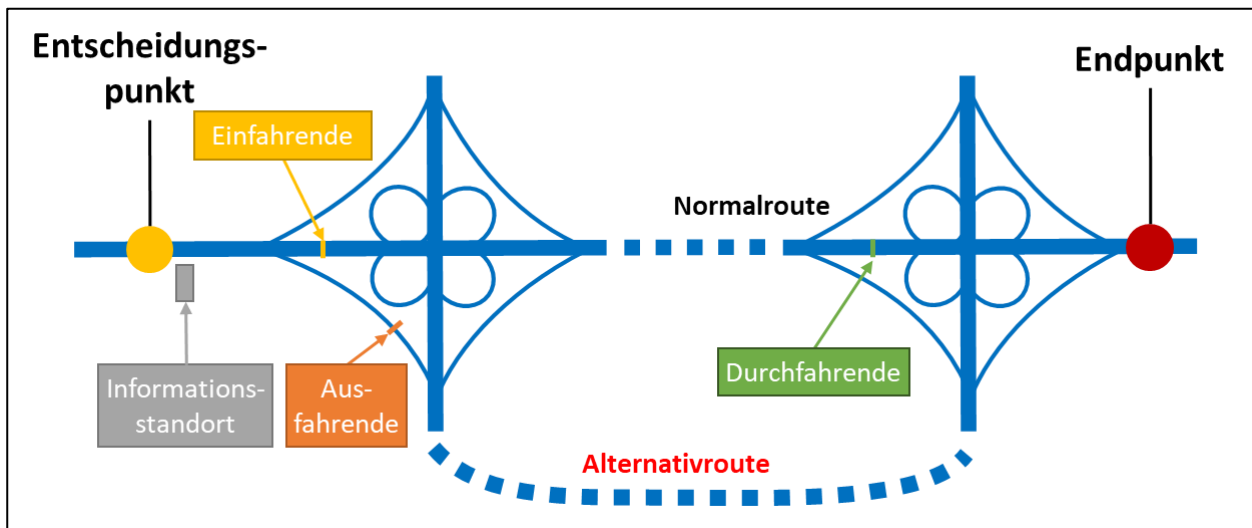


Bild 5-8 Überblick der Begrifflichkeiten relevanter Gruppen von Verkehrsteilnehmenden für die Wirksamkeitsanalyse

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde ein Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse entwickelt, mit dem die verkehrlichen Wirkungen einer NBA in einem Gesamtsystem ermittelt werden können. Dieses umfassende Verfahren wird in Kapitel 5.2.1 vorgestellt.

Für die Anwendung dieses umfassenden Verfahrens werden jedoch teilweise Kenngrößen erforderlich, die derzeit nicht in der notwendigen Differenziertheit zur Verfügung stehen. Dies führt dazu, dass für einzelne Kenngrößen in diesem Verfahren derzeit nur Annahmen getroffen werden können. Somit würden die Ergebnisse aus der Verfahrensanwendung unter dem Vorbehalt der korrekt getroffenen Annahmen für diese Kenngrößen stehen. Um aber belastbare Ergebnisse aus einer Wirksamkeitsanalyse ableiten zu können, ist die Nachvollziehbarkeit der Ermittlungswege von wesentlicher Bedeutung. Bei der Darstellung des Verfahrens in Kapitel 5.2.1 wird deshalb an einzelnen Stellen auf diesen Umstand eingegangen. Die Belastbarkeit der Ergebnisse kann mit dem aktuellen Kenntnisstand zu einzelnen Kenngrößen nicht gewährleistet werden. Somit ist auch die Praktikabilität des umfassenden Verfahrens derzeit nicht gegeben.

Für die zukünftige Anwendung des umfassenden Verfahrens sollte sukzessive eine Wissensbasis aufgebaut werden, mit der für die Kenngrößen auch realitätsnahe Werte ableitbar werden. Mit einem steigenden Umfang der Wissensbasis erhöht sich auch die Belastbarkeit der Kenngrößen. Das umfassende Verfahren kann dann zukünftig bei substanziell verbesserter Datenlage eingesetzt werden. Die notwendigen Kenngrößen, die im Verlauf des Verfahrens erforderlich werden, können dann auf einfachem Weg ermittelt werden bzw. aus verfügbaren Datengrundlagen entnommen werden.

Aus diesem umfassenden Verfahren wird in Kapitel 5.2.2 ein vereinfachtes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse abgeleitet, welches dem Anspruch der Praktikabilität bei der Anwendung und der Belastbarkeit der erzielbaren Ergebnisse unter den aktuellen Randbedingungen in Bezug auf die Verfügbarkeit und Güte der erforderlichen Informationen zu Kenngrößen im Sinne von quantifizierbaren Eingangsdaten gerecht wird.

Ein mit angemessenem Aufwand umsetzbares Verfahren ist aber nicht nur aus Gründen der Praktikabilität oder der Belastbarkeit von Ergebnissen zielführend. Insbesondere in Projekten zur Ex-Ante-Anwendung im Rahmen der Planung von NBA stehen hierfür regelmäßig nur eingeschränkt Mittel zur Verfügung. Der aus der Methodik des Verfahrens abgeleitete Aufwand muss auf diese Randbedingungen skaliert werden.

Bezüglich der Wirkungsweise einer NBA wird zwischen zwei Anwendungsfällen unterschieden. Zum einen bietet die NBA die Möglichkeit, eine Störungsinformation (Anwendungsfall S) weiterzugeben. Hierbei werden den Verkehrsteilnehmenden am Informationsstandort (vor dem Entscheidungspunkt) Informationen zur Lage und zum Umfang der Störung (entweder Störungslänge oder Verlustzeit) auf der Normalroute vermittelt. Zusätzlich und ergänzend zur Störungsinformation ist mit der Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung (Anwendungsfall A) ein weiterer Anwendungsfall relevant.

5.2.1 Umfassendes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse

Bild 5-9 und Bild 5-10 zeigen den prinzipiellen Ablauf der Verfahrensteile für die Anwendungsfälle A und S. Die einzelnen Verfahrensschritte werden im Detail im folgenden Text erläutert. Die Ergebnisse der Wirksamkeitsanalyse sind in beiden Bildern gekennzeichnet.

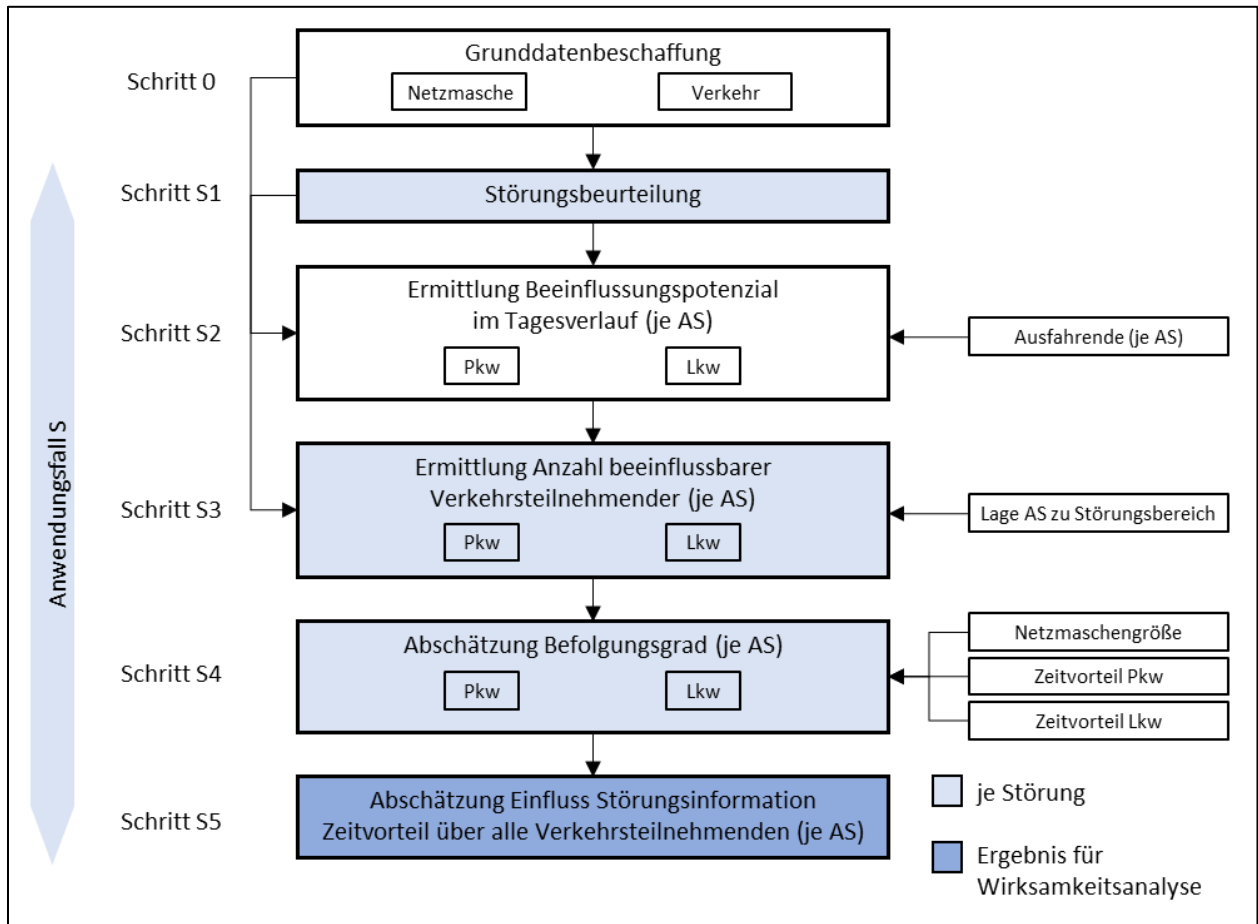


Bild 5-9 Übersicht des umfassenden Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall S

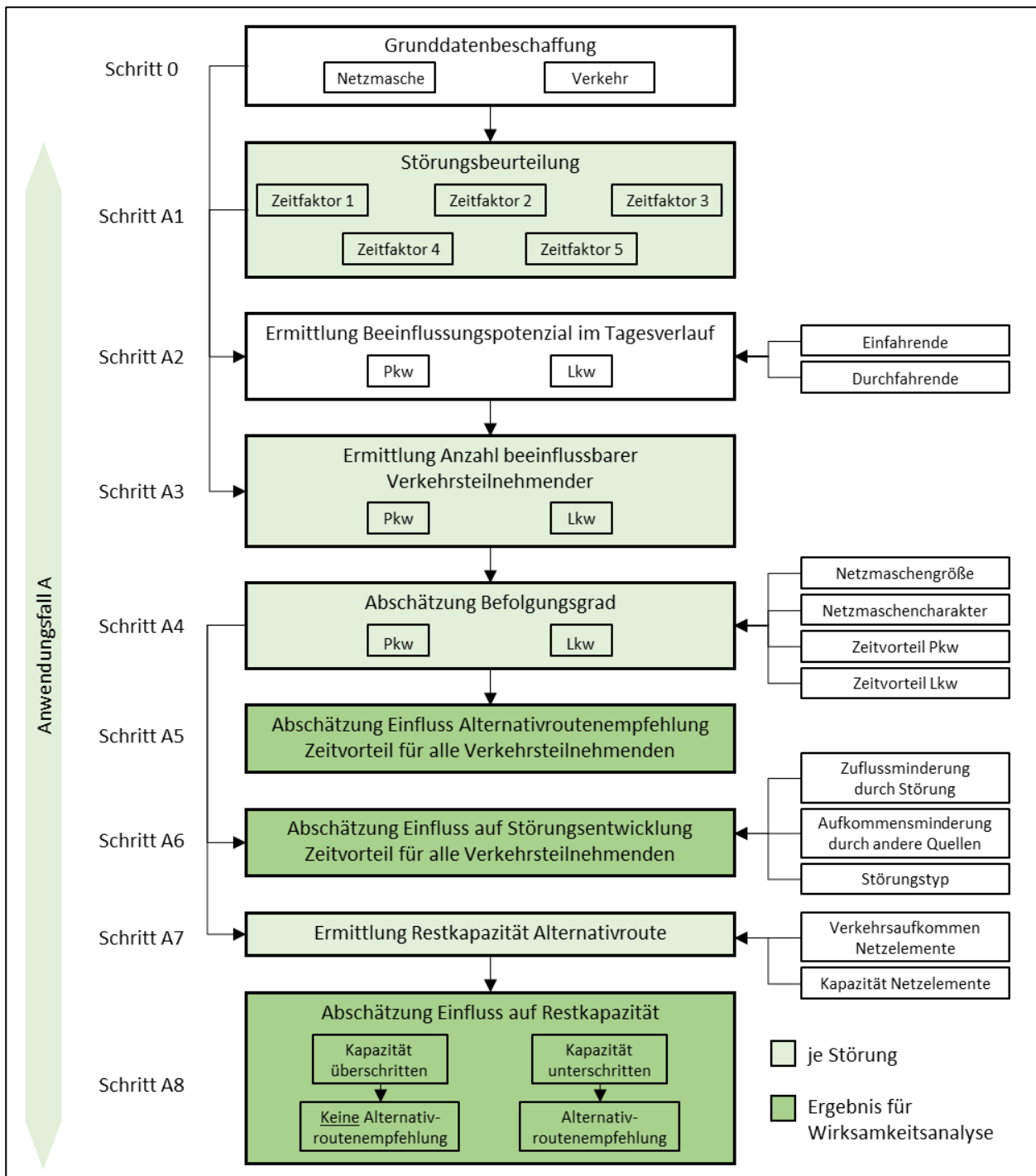


Bild 5-10 Übersicht des umfassenden Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall A

Bei diesem Ansatz werden die in Kapitel 3 zur Beschreibung von Angebot und Nachfrage dargestellten Kriterien berücksichtigt, so dass insgesamt eine geschlossene und systematische Integration dieser beiden Betrachtungsweisen ermöglicht wird. In Teilen werden die Kriterien mit Blick auf die Verfügbarkeit von Grundlagendaten sinngemäß modifiziert und mit aus prinzipiell verfügbaren Daten ableitbaren Kenngrößen beschrieben.

Das umfassende Verfahren legt seinen Schwerpunkt auf die Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen für die Anwendungsfälle S und A in Bezug auf die eingetretenen Veränderungen des Zeitaufwandes bei den Verkehrsteilnehmenden. Somit stehen die Grundlagen für die Ermittlung der Wirkungskomponenten Zeitkosten und Staukosten und in angelegelter Form des Informiertheitsgrades (siehe Kapitel 4.2.3) im Fokus

des Verfahrens, wobei die kostenseitige Beurteilung der Veränderungen des Zeitaufwandes diesem Verfahren nachgelagert sind. Es wurde, auch unter dem Eindruck der Erkenntnisse aus der Literaturanalyse (siehe Kapitel 2.1) und den Experteninterviews (siehe Kapitel 2.2), darauf verzichtet, weitere Wirkungskomponenten in das Verfahren aufzunehmen. Zu nennen wären hier der Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch oder der Einfluss auf die Schadstoffemissionen, deren kostenmäßige Bewertung allerdings nicht zum Untersuchungsumfang dieses Projektes gehören. In Bezug auf den Kraftstoffverbrauch würde das Verfahren durch die Integration Gefahr laufen, dass gleiche Ursachen für eine Veränderung möglicherweise mehrfach in die Wirksamkeitsanalyse einfließen. Auch die weiteren im Kapitel 4.2.3 benannten Wirkungskomponenten bleiben unberücksichtigt, da für die Kenngrößen zu ihrer Beschreibung derzeit noch keine Ansätze bekannt sind und damit der Aufwand zur Ermittlung ihrer Wirksamkeitsbeiträge bspw. durch den Einsatz fallspezifischer Simulationen nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand leistbar ist. Durch die Konzentration auf den Zeitaufwand wird bereits auch der Einfluss aus der Nutzung der Alternativroute durch beeinflussbare Verkehrsteilnehmende und die daraus resultierende Entlastung des Störungsbereiches ausreichend berücksichtigt. Dem Einfluss durch die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden auf der Alternativroute kann durch das Einbeziehen der Restkapazität auf der Alternativroute in das Verfahren Rechnung getragen werden. Bei den Schadstoffemissionen wird eine lokale Differenzierung der Schadstoffemissionen mit Blick auf die globalen Wirkungszusammenhänge nicht für sinnvoll gehalten und deshalb hier auch nicht weiterverfolgt.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass infolge von Netzbeeinflussungsmaßnahmen auch Wirkungen möglich sind, die außerhalb des hier betrachteten Systems einer Netzmasche (bestehend aus Normalroute und Alternativroute(n)) im nachgeordneten Straßennetz auftreten können. So ist zu erwarten, dass durch die Störungsinformation Verkehrsteilnehmende in verstärktem Maße zur Umfahrung einer Störung auf die relevanten Bedarfsumleitungen oder sonstige Alternativrouten im nachgeordneten Netz ausweichen und hier möglicherweise deutlich sensiblere Netzbereiche in Bezug auf Siedlungs- und Naturraum belasten. Im Hinblick auf die Praktikabilität des Verfahrens werden diese Wirkzusammenhänge nicht weiterverfolgt, weil zu einer belastbaren Berücksichtigung die Abschätzung vieler Betroffenheiten notwendig wäre. Hierzu müssten bspw. die Anwohner im Nahumfeld der Bedarfsumleitung, die Nutzungen im Zuge der Bedarfsumleitung und deren Lage im Siedlungsgebiet bzw. im Naturraum beurteilt werden. Für die Abbildung der individuellen Entscheidung der einzelnen Verkehrsteilnehmenden für die Nutzung des nachgeordneten Netzes liegen zudem derzeit noch keine verwertbaren Ansätze vor. Die Definition der Netzmasche selbst gibt hier die sinnvollste räumliche Abgrenzung vor.

Für den Anwendungsfall A muss zunächst die Charakteristik des zugrundeliegenden Netzes aus Normalroute und Alternativroute(n) analysiert werden und deren Bedeutung für die Verfahrensanwendung im konkreten Fall dargestellt werden. Aus dieser Analyse ergeben sich auch Hinweise auf die tatsächliche Relevanz möglicher Störungen auf der Normalroute und in Bezug auf die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung.

Weiterhin wird aus der Routenverteilung unter den Verkehrsteilnehmenden am Entscheidungspunkt das Beeinflussungspotential bei einer Störung und damit die Anzahl beeinflussbarer Verkehrsteilnehmenden für die Befolgung einer Alternativroutenempfehlung abgeschätzt. Für die Bestimmung des Beeinflussungspotentials sind folgende Eigenschaften relevant:

- Lage der Störung auf der Normalroute
- Zeitpunkt der Störung.

Aus weiteren störungsspezifischen Randbedingungen wird der Befolgungsgrad, der ein Maß für die Befolgung der Alternativroutenempfehlung beschreibt, abgeleitet. Der Befolgungsgrad wird dabei im Wesentlichen beeinflusst durch:

- Art der Störung
- Umfang der Störung
- Dauer der Störung
- Zeitvorteil bei Nutzung der Alternativroute

Ziel ist es dabei, die Störungen und die daraus ableitbaren Befolgungsgrade zu berücksichtigen, um somit eine genauere Abschätzung der Einflussnahme zu ermöglichen.

Eine NBA nimmt mit den Anwendungsfällen „Weitergabe von Störungsinformationen“ (Anwendungsfall S) und „Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung“ (Anwendungsfall A) zunächst Einfluss auf unmittelbar betroffene Verkehrsteilnehmende (Verkehrsteilnehmende, die aufgrund der Störungsinformation ihre Route ändern bzw. der empfohlenen Alternativroute folgen). Daneben ergeben sich aber auch Veränderungen für mittelbar betroffene Verkehrsteilnehmende. Dies gilt für alle Verkehrsteilnehmenden, die sich auf der Normalroute im Bereich der Störung befinden und durch das reduzierte Verkehrsaufkommen Vorteile haben, und auch für die Verkehrsteilnehmenden auf einzelnen Streckenabschnitten im Zug der Alternativroute, die bei Überschreitung der Kapazität (unter Berücksichtigung des zusätzlichen Verkehrsaufkommens aus der Alternativroutenempfehlung) Nachteile haben können.

Durch das Verlassen der die Alternativroutenempfehlung befolgenden Verkehrsteilnehmenden wird der Bereich der Störung auf der Normalroute entlastet. Dies hat eine positive Wirkung auf die Störungsentwicklung und kommt damit allen Verkehrsteilnehmenden zugute, die sich auf der Normalroute befinden und den gestörten Streckenabschnitt durchfahren müssen.

Auch der Einfluss des von der Normalroute auf die Alternativroute verlagerten Verkehrsaufkommens auf den Verkehrsablauf auf der Alternativroute selbst muss in die Betrachtung einbezogen werden. Hierzu muss die Restkapazität im Verlauf der Alternativroute zum Zeitpunkt der Alternativroutenempfehlung bekannt sein. Ausschlaggebend hierfür ist dabei ein maßgebliches Netzelement, welches während der Störung im Verlauf der Alternativroute die geringste Restkapazität aufweist.

Das umfassende Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse wird auf zwei verschiedene Bereiche aufgeteilt. Dies sind zum einen Wirkungen hervorgerufen durch die Weitergabe von Störungsinformationen und zum anderen die Wirkung einer Alternativroutenempfehlung. Vorgeschaltet ist ein Verfahrensschritt zur Beschaffung von Grunddaten:

- Schritt 0: Beschaffung erforderlicher Grunddaten zur Netzmasche und zum Verkehr

Die Wirkungen durch die Weitergabe von Störungsinformationen (Anwendungsfall S) werden in den Verfahrensschritten

- Schritt S1: Beurteilung der einzelnen Störung
- Schritt S2: Ermittlung des Beeinflussungspotentials der Weitergabe einer Störungsinformation
- Schritt S3: Ermittlung Anzahl beeinflussbarer Verkehrsteilnehmenden je Störung (spezifisch je Anschlussstelle)
- Schritt S4: Abschätzung des Befolungsgrades je Störung (spezifisch je Anschlussstelle)
- Schritt S5: Abschätzung des Einflusses einer Störungsinformation (Ermittlung des Zeitvorteils für die Verkehrsteilnehmenden bei Nutzung der Alternativroute) (spezifisch je Anschlussstelle)

abgeleitet.

Bei einer Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung (Anwendungsfall A) wird zwischen den folgenden Verfahrensschritten auf Grundlage einer Datenbasis über einen Zeitraum von zwei Jahren unterschieden:

- Schritt A1: Beurteilung der einzelnen Störung
- Schritt A2: Ermittlung des Beeinflussungspotentials einer Alternativroutenempfehlung
- Schritt A3: Ermittlung Anzahl beeinflussbarer Verkehrsteilnehmenden je Störung
- Schritt A4: Abschätzung des Befolungsgrades je Störung
- Schritt A5: Abschätzung des Einflusses einer Alternativroutenempfehlung bei Nutzung der Alternativroute (Ermittlung des Zeitvorteils für die eine Alternativroutenempfehlung befolgenden Verkehrsteilnehmenden)
- Schritt A6: Abschätzung des Einflusses einer Alternativroutenempfehlung auf die Störungsentwicklung (Ermittlung des Zeitvorteils der Verkehrsteilnehmenden auf der Normalroute)
- Schritt A7: Ermittlung der Restkapazität(en) auf den Alternativroute(n)

- Schritt A8: Abschätzung des Einflusses der Alternativroutenempfehlung auf die Restkapazität(en) der Alternativroute(n)

Bild 5-9 und Bild 5-10 geben einen Überblick über die Verfahrensschritte und ihre Zusammenhänge. Im Kapitel 5.3 werden die einzelnen Verfahrensschritte textlich dargestellt und erläutert. Dabei erfolgt die Beschreibung prinzipiell für Ex-Ante-Verfahren. Wenn sich in den Verfahrensschritten in Bezug auf Ex-Post-Verfahren Änderungen ergeben, werden diese explizit an den relevanten Stellen ausgewiesen.

5.2.2 Vereinfachtes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse

Das vereinfachte Verfahren wurde aus dem im Kapitel 5.2.1 erläuterten umfassenden Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse abgeleitet, indem mit Blick auf die Praktikabilität der Anwendung und der Schlüssigkeit der erzielbaren Ergebnisse einzelne Berechnungsschritte aus dem Verfahrensablauf verändert oder entfernt wurden. Diese Berechnungsschritte sind geprägt durch Kenngrößen, für die derzeit noch keine belastbaren Werte zur Verfügung stehen. Das vereinfachte Verfahren baut vielmehr auf einer Datengrundlage auf, die bereits jetzt genutzt werden kann. Kenngrößen finden in diesem vereinfachten Verfahren nur Eingang, wenn ihre Festlegung nicht auf Annahmen beruht. Diese Vereinfachung trägt dem Umstand Rechnung, dass wertvolle Datenbestände aus der Datenerfassung, seien es Verkehrsdaten, Störungsdaten oder Daten zu Schaltungen von NBA nicht für weitere Anwendungszwecke systematisch vorgehalten werden. Sie werden nur in verschiedenen technischen Systemen genutzt, um deren spezifische Funktionalitäten zu ermöglichen. Mit der Zusammenführung und systematischen Datenhaltung dieser Datenbestände bundesweit würde ein Datenpool im Sinne einer Wissensbasis entstehen, mit dem sich für die im vereinfachten Verfahren unberücksichtigt bleibenden Kenngrößen Werte festlegen ließen und damit weitere Elemente im umfassenden Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse nutzbar wären.

In Bild 5-11 und Bild 5-12 ist der prinzipielle Ablauf der Verfahrensteile für die Anwendungsfälle S und A dargestellt. Im folgenden Text werden die einzelnen Verfahrensschritte im Detail erläutert. In Anlage 2 sind die einzelnen Schritte in einer Berechnungsvorschrift zur Anwendung des Verfahrens zusammengestellt.

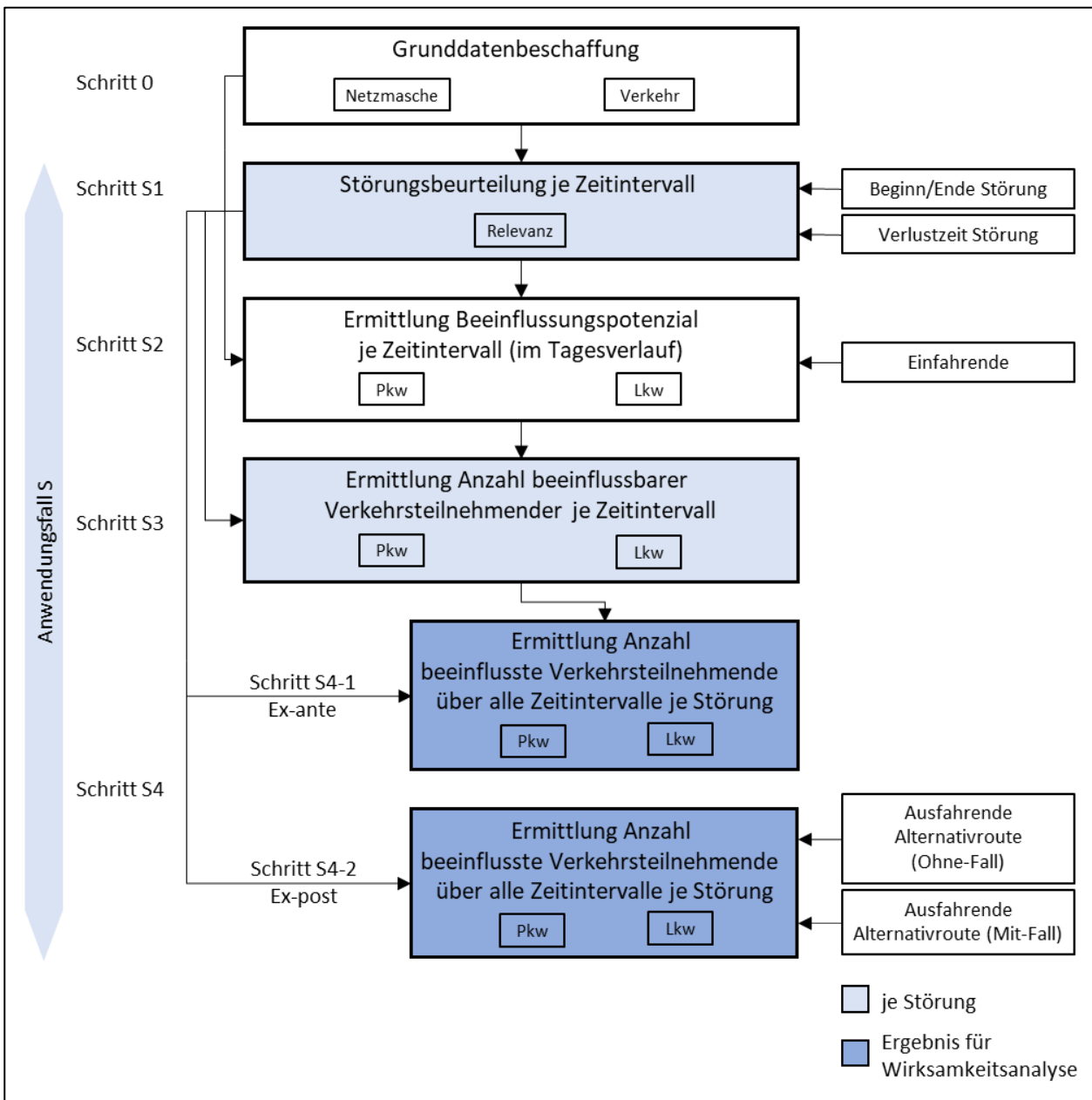


Bild 5-11 Übersicht des vereinfachten Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall S

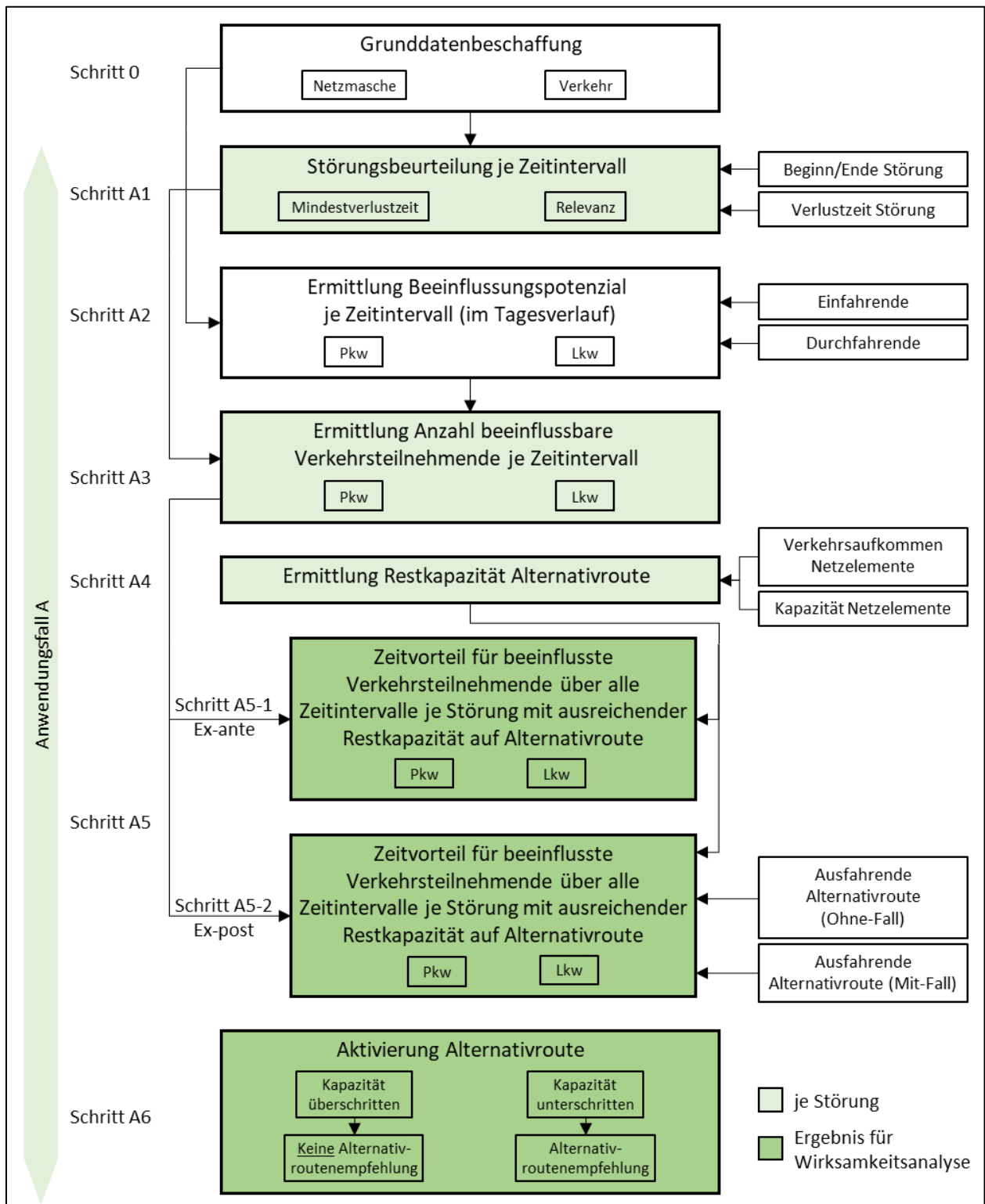


Bild 5-12 Übersicht des vereinfachten Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall A

In diesem vereinfachten Verfahren steht die Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen für den Anwendungsfall A weiterhin durch Ermittlung von Veränderungen des Zeitaufwandes bei den Verkehrsteilnehmenden im Zentrum der Betrachtung. Ausgehend von diesen Ergebnissen können in darauf aufbauenden Berechnungsschritten somit auch Zeitkosten und Staukosten abgeleitet werden. Für den Anwendungsfall S wird hier die Anzahl beeinflusster Verkehrsteilnehmender zur Beschreibung eines Informiertheitsgrades (siehe Kapitel 4.2.3) abgeschätzt. Insofern unterscheidet sich dieses vereinfachte Verfahren zwar in den Grundzügen nicht von dem im Kapitel 5.2.1 dargestellten umfassenden Verfahren, erlaubt aber für den

Anwendungsfall S keine Ausweisung von Zeitvorteilen. Bei ausreichend belastbarer Datenlage zu Veränderungen von Fahrtzeiten im Zuge der Normalroute bei einer Störung für die Fälle mit bzw. ohne Alternativroutenempfehlung bzw. Störungsinformation wäre die Integration von Berechnungsbausteinen zur Ermittlung des Zeitvorteiles für die durch den Störungsbereich betroffenen Verkehrsteilnehmenden infolge einer Entlastung des Störungsbereiches denkbar (in Anlehnung an die Schritte S5 und A6 des umfangreichen Verfahrens).

Für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens muss zunächst die Charakteristik des zugrundeliegenden Netzes aus Normalroute und Alternativroute(n) analysiert werden, um deren Bedeutung für die Verfahrensanwendung im konkreten Fall darzustellen. Aus dieser Analyse lassen sich Hinweise auf die tatsächliche Relevanz möglicher Störungen auf der Normalroute zur Anzeige einer Störungsinformation sowie für die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung ableiten. Die im Schritt 0 hierzu zu ermittelnden Grunddaten können gegenüber dem umfassenden Verfahren in ihrem Umfang reduziert werden.

Das vereinfachte Verfahren gemäß Kapitel 5.4 konzentriert sich beim Anwendungsfall A auf die Veränderungen im Zeitaufwand bei Verkehrsteilnehmenden, die bei einer Störung von der Normalroute auf die Alternativroute wechseln. Im Anwendungsfall S werden diejenigen Verkehrsteilnehmenden ermittelt, denen durch eine Störungsinformation die Möglichkeit geboten wird, ihre Routenentscheidung prinzipiell ändern zu können. Im Gegensatz zum umfassenden Verfahren in Kapitel 5.2.1 wird die Ermittlung des Anteils von Verkehrsteilnehmenden, die der Alternativroutenempfehlung folgen, im vereinfachten Verfahren nicht durchgeführt, da im umfassenden Verfahren laut Kapitel 5.2.1 Annahmen für Kenngrößen getroffen wurden, die bisher nur als nicht verifizierte Schätzwerte verstanden werden können. Zudem werden mit der gleichen Begründung bei dem Anwendungsfall A die Entlastungseffekte für den Störungsbereich auf der Normalroute infolge der auf die Alternativroute ausweichenden Verkehrsteilnehmenden nicht berücksichtigt. Es entfallen also die Schritte A4 und A6 aus dem umfassenden Verfahren. Gleiches gilt auch für einzelne Zeitfaktoren, die im Schritt A1 für die Beurteilung einer einzelnen Störung herangezogen werden.

Im Anwendungsfall S wird im vereinfachten Verfahren anders als beim umfassenden Verfahren laut Kapitel 5.2.1 auf die Abschätzung des Befolgungsgrades (in diesem Fall für jede Anschlussstelle auf der Normalroute) verzichtet. Auch hierzu ist die Begründung in den zunächst zugrunde gelegten Schätzwerten für die Kenngrößen bei der Ermittlung des Befolgungsgrades zu sehen, für deren Größenordnungen derzeit noch ein Nachweis fehlt. Weiterhin wurde das im Verfahren betrachtete System im vereinfachten Verfahren anders definiert. Hierbei werden nur die möglichen Veränderungen im Verhalten der Verkehrsteilnehmenden einbezogen, die sich auf den Bereich der im Zuge der Netzmasche liegenden Autobahnen abbilden lassen. Die Folge, dass Verkehrsteilnehmende von der Normalroute mit Kenntnis über eine Störung in das nachgeordnete Straßennetz wechseln, um den gestörten Bereich zu umfahren oder ihr Ziel auf einer Route außerhalb der Normalroute zu erreichen, muss unberücksichtigt bleiben, da ihr tatsächlicher Umfang nicht bestimmbar ist. Im Vordergrund stehen die Verkehrsteilnehmenden, die am Entscheidungspunkt die Normalroute auch nur teilweise nutzen (würden) und dort über eine Störung informiert werden. Eine Festlegung, ob erst ab einer Mindestgröße dieser Gruppe von Verkehrsteilnehmenden diese selbst im Rahmen der Wirksamkeitsanalyse ausgewiesen wird, wird hierbei zunächst nicht getroffen. Der Vorteil, besser informiert zu sein als ohne den Hinweis auf eine Störung, wird durch die Anzahl der Verkehrsteilnehmenden repräsentiert, die diese Störungsinformation erhalten. Eine Ausweisung eines Zeitvorteiles kann anders als beim Umfangreichen Verfahren hier nicht erfolgen, da die Größen der hierfür erforderlichen Parameter nicht gesichert vorliegen.

Bei Anwendungsfall A ist das Beeinflussungspotential bei einer Störung durch diejenigen Verkehrsteilnehmenden geprägt, die die Normalroute auf kompletter Länge bis zum Endpunkt befahren. Für die Bestimmung des Beeinflussungspotential sind somit als Eigenschaften der Störung der Zeitpunkt, der Umfang und die Dauer der Störung maßgebend. An dieser Stelle unterscheidet sich das vereinfachte Verfahren vom im Kapitel 5.2.1 beschriebenen umfassenden Verfahren, weil dort einzelne Attribute einer Störung dazu verwendet werden, um aus den beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden denjenigen Anteil abzuleiten, der die Alternativroutenempfehlung tatsächlich auch befolgt. Die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden lassen sich demnach aus dem tatsächlichen Verkehrsaufkommen am Entscheidungspunkt während einer für die Alternativroutenempfehlung relevanten Störung ableiten (wobei das Beeinflussungspotential hier durch die Durchfahrenden definiert wird, die die Normalroute auf voller Länge befahren würden). Auf die Abschätzung eines Befolgungsgrades wird in gleicher Weise wie im Anwendungsfall S verzichtet. Ebenfalls verzichtet wird auf die Abschätzung der Auswirkungen auf den Verkehrsablauf im Störungsbereich

infolge der Entlastung des Störungsbereiches durch die Ausweisung der Alternativroute und die Informationen über die Störung auch über andere Informationsquellen.

Die Alternativroute wird in diesem Verfahren weiterhin integriert, indem die Restkapazität(en) für das / die relevante(n) Entwurfs-element im Zeitraum der Störung für die Entscheidungsfindung zur Ausweisung einer Alternativroute herangezogen wird / werden. Nur wenn die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden in ihrem Aufkommen geringer sind als die verfügbare Restkapazität erfolgt die Ausweisung der Alternativroute.

Das vereinfachte Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse wird weiterhin auf die Bereiche Wirkung einer Störungsinformation und Wirkung einer Alternativroutenempfehlung aufgeteilt. Vorgeschaltet ist ein Verfahrensschritt zur Darstellung der erforderlichen Grunddaten:

- Schritt 0: Beschaffung erforderlicher Grunddaten zu Netzmasche und zum Verkehr

Die Wirkung durch die Weitergabe von Störungsinformationen (Anwendungsfall S) werden in den folgenden Verfahrensschritten ermittelt:

- Schritt S1: Beurteilung der einzelnen Störung
- Schritt S2: Ermittlung des Beeinflussungspotentials der Weitergabe einer Störungsinformation
- Schritt S3: Ermittlung der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden je Störung (am Entscheidungspunkt)
- Schritt S4: Ermittlung der beeinflussten Verkehrsteilnehmenden, welche durch die Störungsinformation die Normalroute entlasten können.

Eine Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung (Anwendungsfall A) wird zwischen den folgenden Verfahrensschritten auf Grundlage einer Datenbasis über einen Zeitraum von zwei Jahren unterschieden:

- Schritt A1: Beurteilung einer einzelnen Störung
- Schritt A2: Ermittlung des Beeinflussungspotentials einer Alternativroutenempfehlung
- Schritt A3: Ermittlung der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden je Störung
- Schritt A4: Ermittlung der Restkapazitäten auf den Alternativrouten
- Schritt A5: Abschätzung des Einflusses eine Alternativroutenempfehlung bei Nutzung der Alternativroute (Ermittlung des Zeitvorteiles für die einer Alternativroutenempfehlung folgenden Verkehrsteilnehmenden)
- Schritt A6: Abschätzung des Einflusses der Restkapazität(en) der Alternativroute(n) auf die Alternativroutenempfehlung

Die Bild 5-11 und Bild 5-12 geben einen Überblick über die Verfahrensschritte und ihre Abhängigkeiten im Kapitel 5.4 und mit der Verfahrensvorschrift in Anlage 2 wird das Verfahren eingehender erläutert. Dabei erfolgt die Beschreibung für Ex-Ante-Verfahren. Wenn sich in den Verfahrensschritten in Ex-Post-Verfahren Änderungen ergeben, werden diese explizit an den relevanten Stellen ausgewiesen.

5.2.3 Zeitkostensätze zur Ermittlung des Nutzens

Ergebnis der entwickelten Wirksamkeitsanalyseverfahren stellen die verkehrlichen Wirkungen einer NBA dar. In beiden Anwendungsfällen werden die Zeitvorteile für die tatsächlich beeinflussten Verkehrsteilnehmenden (Pkw und Lkw) ausgewiesen. Der Nutzens der NBA kann auf Grundlage dieser Zeitvorteile unter Verwendung von zuvor definierten Zeitkostensätzen ermittelt werden.

Hierfür können die im Forschungsvorhaben „Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straße“ [GEISTEFELDT et al. 2017] benannten Ansätze zur Ermittlung volkswirtschaftlicher Kosten durch Zeitverluste genutzt werden. Hierbei wurden die in [BAUM / KRANZ 2012] ermittelten Zeitkostensätze für den Schwer- sowie den Leichtverkehr verwendet. Die Zeitkostensätze werden dabei nach den Gruppen der Verkehrsteilnehmenden Güterverkehr, gewerblicher Verkehr und nicht-gewerblicher Verkehr (Pendler und sonstiger nicht-gewerblicher Verkehr) unterschieden. Für den Personenverkehr wird darüber hinaus nach Tagestypen differenziert (siehe Tab. 5-1).

			Normalwerktag		Urlaubs- werktag	Sonn- und Feiertage
			Wochen- werktag (Montag bis Freitag)	Wochenend- werktag (Samstag)		
Schwerverkehr			35,99			
Leichtverkehr	Gewerblich		28,99	30,54	28,53	31,31
	Nicht gewerblich	Pendlerverkehr	7,89	8,31	8,04	7,82
		Sonstiger Verkehr	7,70	9,08	8,00	9,92

Tab. 5-1 Zeitkostensätze in €/Fahrzeugstunde [BAUM / KRANZ 2012]

In Abhängigkeit davon, ob für die Betrachtungen im NBA-Umfeld eine Fahrtzweckunterscheidung der Verkehre vorliegt kann auf dieser Grundlage auch entsprechend aggregierte Werte verwendet werden.

Für die Anwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes werden die in Tab. 5-2 aufgelisteten aggregierten Zeitkostensätze verwendet.

Fahrzeuggruppe	Zeitkostensatz [€/h]	Erläuterung
Lkw	35,99	Wert für Schwerverkehr aus Tab. 5-1 Tab. 5-1
Pkw	8,21	gewichteter Mittelwert über die verschiedenen Tagestypen einer Woche (5 Wochenwerktag, 1 Wochenendwerktag, 1 Sonntag) für die Fahrzeuggruppe „Sonstiger nicht-gewerblicher Leichtverkehr“ aus Tab. 5-1

Tab. 5-2 verwendete Zeitkostensätze im Wirksamkeitsanalyseverfahren

5.3 Darstellung der Verfahrensschritte des umfassenden Wirksamkeitsanalyseverfahrens

5.3.1 Ermittlung von Grunddaten

Verfahrensschritt 0

Zunächst wird ausgehend vom Entscheidungspunkt und dem Verlauf der Normalroute festgelegt, wo der Endpunkt für eine Alternativroutenempfehlung im Autobahnnetz liegt. Aus diesen Informationen lässt sich zum einen die Länge der Normalroute und zum anderen die Länge der hier relevanten Alternativroute ermitteln. Somit ist das System der Netzmasche bestimmt. Sofern mehrere Alternativrouten relevant sind, müssen die folgenden Betrachtungen für alle Alternativrouten separat durchgeführt werden.

Mit den Informationen zur Länge der Normalroute und der Alternativroute kann ausgehend von der Länge der Normalroute auch eine Einordnung in die Typisierung der Netzabschnitte im Autobahnnetz erfolgen. Für die Normalroute wird zudem mit der Länge zwischen Entscheidungspunkt und Endpunkt und der Anzahl der Anschlussstellen auf diesem Netzabschnitt über den durchschnittlichen Anschlussstellenabstand eine weitere Eingangsgröße zur Charakterisierung des Netzabschnittes für folgende Verfahrensschritte ermittelt.

Wesentliche Eingangsgrößen für das Verfahren ergeben sich auch aus der Ermittlung von Kenngrößen im Verkehr. Hierbei wird zwischen dem Verkehrsaufkommen der Einfahrenden unterschieden, die am Entscheidungspunkt in die Netzmasche (beschrieben durch Normalroute mit Alternativroute) einfahren, und dem Verkehrsaufkommen der Durchfahrenden, die üblicherweise (im ungestörten Zustand) die gesamte Normalroute bis zum Endpunkt durchfahren (siehe auch Bild 5-8). Die Daten müssen zwischen Pkw und Lkw differenziert werden. Es wird in dem Verfahren unterstellt, dass sowohl am Entscheidungspunkt (zur Definition der Einfahrenden), als auch am Endpunkt (Ort zur Definition der Durchfahrenden), eine Verkehrsdatenerfassung über einen längeren Zeitraum (stundenbasiert über mindestens vier Wochen) zur Verfügung steht. Dies kann entweder durch einen ortsfesten Messquerschnitt oder auch temporäre lokale Verkehrserhebungen erfolgen. Die Erhebung der Durchfahrenden sollte idealerweise durch eine Kennzeichenerfassung oder ersatzweise durch andere Verfahrensweisen zur Stromverfolgung (bspw. Bluetooth oder FCD) erfolgen. Werden Erhebungen mittels Bluetooth oder FCD verwendet, ist zu beachten, dass

dann die Ermittlung nur näherungsweise möglich sein wird, da in diesem Fall nur eine Teilmenge der Durchfahrenden einwandfrei erfasst wird. Die Ableitung der Durchfahrenden ist prinzipiell auch aus einem makroskopischen Verkehrsmodell möglich. Dies ist aber in der Regel mit sehr großen Unschärfen verbunden, weil eine tageszeitliche Zuordnung des Anteils der Durchfahrenden so nicht ohne weiteres möglich ist.

Aus den Verkehrserhebungen zu Einfahrenden und Durchfahrenden können Ganglinien für den Tagesverlauf an einzelnen Wochentagen erstellt werden, die bei der Störungsanalyse im weiteren Verfahrensablauf benötigt werden.

Aus einem makroskopischen Verkehrsmodell, wie es zur Bundesverkehrswegeplanung beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) für das Autobahnnetz zur Verfügung steht [NE-MOBFSTR 2021], können ausgehend von den Verkehrsteilnehmenden am Entscheidungspunkt die Anteile der Verkehrsteilnehmenden ausgewiesen werden, die die Normalroute auf gesamter Länge durchfahren (Durchfahrende) oder an den auf der Normalroute liegenden Anschlussstellen die Autobahn verlassen. Dieses Verkehrsmodell liefert aktuell mit einem Prognosehorizont 2030 das modellseitig abgeschätzte Verkehrsaufkommen von Pkw und Lkw für das gesamte deutsche Autobahnnetz. Sofern kleinräumigere Verkehrsmodelle, bspw. auf Basis der Bundesländer, verfügbar sind, können auch diese prinzipiell für die Ermittlung der Eingangsgrößen herangezogen werden, wenn sie die betrachtete Netzmasche komplett beinhalten. Diese Verkehrsmodelle haben in der Regel eine höhere Abbildungsgenauigkeit, da die Verkehrsverflechtungen aufgrund der lokalen Kenntnisse detaillierter modelliert sind. Dies ist aber bei einer Betrachtung auf Basis des Autobahnnetzes weniger relevant. Mit Unterstützung von kollektiven oder individuellen Tagesganglinien für die jeweiligen Streckenabschnitte lässt sich das in diesem Verkehrsmodell als durchschnittlicher täglicher Verkehr an Werktagen (DTV_{W6}) ausgewiesene Verkehrsaufkommen auf einzelne Tagesstunden herunterbrechen. Zudem können aus den Verkehrsdaten der Dauerzählstellen im Autobahnnetz Faktoren für die Bestimmung des Verkehrsaufkommens an einem Sonntag (DTV_S) oder an einem Werktag von Montag bis Freitag (DTV_{W5}) gewonnen werden. Maßgeblich für das Verfahren sind die Verkehrsteilnehmenden auf Basis der Auswertung der makroskopischen Verkehrsmodellrechnung, die am Entscheidungspunkt in die Netzmasche einfahren und sie an den einzelnen Anschlussstellen der Normalroute verlassen bzw. bis zum Endpunkt der Normalroute auf dieser verbleiben. Qualitativ sollte mit den Ergebnissen auch geprüft werden, ob die Netzspinnen in Bezug auf die Durchfahrenden die Routenvorgaben aus der wegweisenden Beschilderung über die Normalroute zu Fernzielen stromabwärts des Endpunktes einer Netzmasche prinzipiell richtig abbilden.

Zudem ist für die Streckenabschnitte auf der Normalroute (begrenzt durch die Anschlussstellen) die zeitliche Verteilung des Verkehrsaufkommens über den Tagesverlauf (30 Minuten-Intervalle) auf der betroffenen Richtungsfahrbahn im ungestörten Zustand nötig (Datengrundlage: Erhebung über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen). Ggf. können diese Werte auch aus ortsfesten Messquerschnitten in den Ein- und Ausfahrtrampen hergeleitet werden. Auch an diesen Standorten werden die Verkehrsdaten in 30 Minuten-Intervallen benötigt.

Um einen Mindestwert für die störungsbedingte Verlustzeit definieren zu können, werden für die Fahrtzeiten von Pkw und Lkw Geschwindigkeiten angesetzt, mit denen diese Fahrzeuggruppen sowohl auf der Normal- als auch auf der Alternativroute fahren. Sofern keine Informationen zu Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute aus der vorhandenen Datenerfassung vorliegen und keine anderen Geschwindigkeitsbeschränkungen auf den betroffenen Abschnitten gelten, wird eine Fahrtgeschwindigkeit für Pkw und Lkw gemäß Tab. 5-3 angesetzt. Es handelt sich hierbei um Schätzwerte, die im Rahmen einer detaillierten Auswertung von vorhandenen Verkehrsdaten aus Dauerzählstellen oder durch empirische Erhebungen mit dem Ziel einer Erweiterung der Datenbasis für dieses Verfahren zunächst geprüft werden müssen. Liegen auf Normal- oder Alternativroute Streckenabschnitte mit einer dauerhaften oder temporären Geschwindigkeitsbeschränkung, sind die Ansätze für die Fahrtgeschwindigkeiten entsprechend dem Anteil der Streckenabschnitte mit Geschwindigkeitsbeschränkung an der gesamten Länge der Normal- bzw. Alternativroute zu reduzieren. Aus der Differenz der Fahrtzeiten zwischen den Alternativroute(n) und der Normalroute für Pkw bzw. Lkw ergeben sich die notwendigen Mindestwerte für eine Verlustzeit durch eine Störung, bei der eine Ausweisung der Alternativroute(n) prinzipiell erst sinnvoll ist.

Zulässige Höchstgeschwindigkeit	Pkw	Lkw
keine Beschränkung	100 km/h	75 km/h
T120	90 km/h	75 km/h
T100	85 km/h	75 km/h
T80	75 km/h	70 km/h

Tab. 5-3 Anzusetzende durchschnittliche unbeeinflusste Fahrtgeschwindigkeiten für Pkw und Lkw auf Normal- und Alternativroute bei fehlender Datenerfassung (Schätzwerte)

Wesentliche Grunddaten zur Beschreibung der Netzmasche:

- Länge der Normalroute und der Alternativroute
- Durchschnittlicher Abstand der Anschlussstellen auf der Normalroute
- Länge der Streckenabschnitte mit Geschwindigkeitsbeschränkung

Für die Beschreibung des Verkehrs auf der Normalroute sind die folgenden Grunddaten relevant:

- 30 Minuten-Werte für Einfahrende (Pkw/Lkw) über einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen
- 30 Minuten-Werte für Durchfahrende (Pkw/Lkw) über einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen
- 30 Minuten-Werte für das Verkehrsaufkommen auf den Streckenabschnitten der Normalroute (Pkw/Lkw) über einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen
- 30 Minuten-Werte für das Verkehrsaufkommen auf den Einfahr- und Ausfahrtrampen der Anschlussstellen im Zuge der Normalroute (Pkw/Lkw) über einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen
- Aufkommensverteilung der Einfahrenden auf die Anschlussstellen und die Durchfahrenden (als DTV_{W6} oder DTV_{W5} mit SV-Anteil) aus einer Routenanalyse mit einem Verkehrsmodell

Auf Alternativrouten muss das Netzelement lokalisiert werden, welches die geringste Kapazität und damit auch für die Alternativroutenempfehlung die vermeintlich geringste Restkapazität besitzt. Für dieses Netzelement ist eine zeitliche Verteilung des Verkehrsaufkommens (Pkw/Lkw) in 30 Minuten-Intervallen über einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen nötig. Idealerweise befindet sich auf diesem Netzelement (bspw. Rampenfahrbahn innerhalb eines Autobahnkreuzes) eine ortsfeste Verkehrsdatenerfassung. Falls dies nicht der Fall ist, muss eine lokale Verkehrserhebung über mindestens 4 Wochen erfolgen.

5.3.2 Anwendungsfall S (Weitergabe von Störungsinformationen)

Die Weitergabe der Störungsinformation am Entscheidungspunkt hat, ob mit oder ohne ergänzender Ausweisung einer Alternativroute, auch Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden, wenn sie - dadurch veranlasst- von ihrer ursprünglichen Routenwahl abweichen.

Verfahrensschritt S1

Dieser Verfahrensschritt ist auf die einzelne Störung und ihren Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden ausgerichtet, das auf der Weitergabe der Störungsinformation am Entscheidungspunkt beruht. Die Normalroute wird zunächst unter Berücksichtigung der Lage einer Störung in unterschiedliche Abschnitte eingeteilt:

- Streckenabschnitte stromaufwärts der Störung
- Streckenabschnitte, die durch die Störung und ihre räumliche Ausdehnung betroffen sind
- Streckenabschnitte stromabwärts der Störung

Aus den Routenverläufen, die für das Verkehrsaufkommen aus einem Verkehrsmodell im Verfahrensschritt 0 bspw. als DTV_{W6} abgeleitet wurden, werden diejenigen Verkehrsteilnehmenden im Pkw- und Lkw-Verkehr abgeschätzt, die an den einzelnen Anschlussstellen im Bereich der ungestörten Streckenabschnitte stromauf- bzw. stromabwärts der Störung ausfahren. Aus Ganglinien, die für die Ausfahrtrampen an den einzelnen Anschlussstellen aus Verfahrensschritt 0 zur Verfügung stehen sollten, werden die im

Zeitraum der Störung auftretenden Anteile dieses Verkehrsaufkommens mit Ursprung am Entscheidungspunkt hergeleitet.

Verfahrensschritt S2

Für diesen Anwendungsfall werden als Beeinflussungspotential alle Anteile des Verkehrsaufkommens definiert, welche Anschlussstellen stromabwärts des gestörten Streckenbereichs auf der Normalroute erreichen wollen.

Die Verkehrsteilnehmenden, die ihr Ziel vor dem (den) gestörten Streckenabschnitt(en) über eine Anschlussstelle ansteuern können, werden zwar ebenfalls durch den Hinweis auf die Störung informiert, müssen jedoch ihre Entscheidung zum weiteren Fahrtverlauf bis zum vorgesehenen Ziel nicht ändern.

Die Verkehrsteilnehmenden, die ihr Ziel über eine Anschlussstelle erreichen wollen, die im gestörten Streckenbereich liegt, werden unter dem Eindruck der Störungsinformation am Entscheidungspunkt (und auch durch Informationen aus weiteren Quellen (wie Radiomeldungen, Navigationsdienste etc.)) gegebenenfalls vor dem gestörten Bereich die Autobahn verlassen und über Alternativrouten im nachgeordneten Netz fahren, falls solche vorhanden sind. Diese individuelle Verhaltensweise wird durch Navigationsdienste gefördert.

Es ist zu erwarten, dass infolge der verfügbaren Information zur Störung bei Ausweisung der Alternativroute auch Verkehrsteilnehmende, die eine Anschlussstelle stromabwärts des gestörten Streckenbereiches erreichen wollen, die Alternativroute nutzen, um ab dem Endpunkt der Normalroute auf der entgegengesetzten Richtungsfahrbahn der Normalroute zum Ziel zu fahren.

Ein geändertes Verhalten der Verkehrsteilnehmenden, welche ihr Ziel im nachgeordneten Netz üblicherweise über eine Anschlussstelle im gestörten Streckenbereich oder eine nachgelagerte Anschlussstelle erreichen, wird hier nicht betrachtet. Diese Verkehrsteilnehmenden verlassen das System einer Netzmasche, in dem Wirkungen mit dem entwickelten Verfahren dargestellt werden sollen. Es ist dabei aber offenkundig, dass auf den Routenverläufen im nachgeordneten Netz, respektive auf den Bedarfsumleitungen Umfelder existieren, die geprägt sind durch sensible Nutzungen in Siedlungs- und Freiraum, in denen eine Zunahme des Verkehrsaufkommens ggf. nicht verträglich abgewickelt werden kann. Dieser Aspekt wird mit Blick auf den Geltungsbereich des Verfahrens zur Wirksamkeitsanalyse nicht integriert, kann aber als weiteres Modul ergänzt werden.

Verfahrensschritt S3

Um beurteilen zu können, welcher Anteil der Verkehrsteilnehmenden aus dem Beeinflussungspotential tatsächlich die durch die NBA ausgewiesene Alternativroute nutzt, werden die Fahrtzeiten (unter Verwendung der bereits in Verfahrensschritt 0 differenzierten Geschwindigkeiten im Pkw- und Lkw-Verkehr) vom Entscheidungspunkt zu den einzelnen Anschlussstellen stromabwärts des gestörten Streckenbereichs sowohl über die Normalroute als auch unter Berücksichtigung der Nutzung der Alternativroute über den Endpunkt ermittelt.

Für die Verkehrsteilnehmenden mit Ziel einer jeden relevanten Anschlussstelle stromabwärts der Störung werden die Zeitdifferenzen zwischen Nutzung der Alternativroute und Verbleib auf der Normalroute ausgewiesen. Die Zeitvorteile werden zunächst je Pkw bzw. je Lkw ermittelt. Wenn sich für das Erreichen einer Anschlussstelle dabei über die Alternativroute ein Zeitvorteil ergibt, wird diese Anschlussstelle im Verfahren weiter betrachtet. Hierbei werden Verkehrsteilnehmende zusätzlich zu den bereits aus den Durchfahrenden abgeleiteten Verkehrsteilnehmenden für den Anwendungsfall A ermittelt.

Verfahrensschritt S4

Ausgehend vom Zeitvorteil bei Nutzung der Alternativroute bis zu einer Anschlussstelle stromabwärts des gestörten Streckenbereichs (gegenüber dem Zeitaufwand bei Nutzung der Normalroute und Durchfahren des gestörten Bereiches) lässt sich ein Befolgungsgrad für die betroffenen Verkehrsteilnehmenden ableiten. Die hierfür verwendeten Befolgungsgrade können der Tab. 5-4 entnommen werden. Es handelt sich hierbei um Schätzwerte, die im Rahmen von empirischen Erhebungen mit dem Ziel einer Erweiterung der Datenbasis für dieses Verfahren zunächst geprüft werden müssen. Bei Zeitvorteilen zwischen 15 Minuten und 60 Minuten bei einer mittleren Netzmaschengröße (Länge des Netzabschnitts der Normalroute über 15 km bis 30 km) über die Alternativroute wird ein Befolgungsgrad bei Pkw und Lkw von 42 % (Faktor D

mit 0,6, Faktor E1 mit 0,7) und bei Lkw von 54 % (Faktor D mit 0,6, Faktor E2 mit 0,9) angesetzt. Die Faktoren D sowie E1 bzw. E2 für Pkw bzw. Lkw sind dabei multiplikativ zu verknüpfen. Die Berechnung erfolgt je betroffener Anschlussstelle ausgehend vom beeinflussbaren Verkehrsaufkommen im Anwendungsfall S. Zeitvorteile unter 15 Minuten bleiben unberücksichtigt, da nach den Erkenntnissen aus den Experteninterviews erst dann eine Alternativroute ausgewiesen wird.

Diese den Zeitvorteilen und Netzmaschengrößen zugeordneten Befolungsgrade sind zunächst systematisch gewählt worden, um Eingangsgrößen für das Verfahren bereitzustellen. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf. In empirischen Untersuchungen sollte dieser Zusammenhang geprüft werden und eine Anlehnung der Werte für die Befolungsgrade an die dabei erzielten Ergebnisse erfolgen.

Gültigkeitsbereich bei Zeitvorteil zwischen 15 Minuten und 60 Minuten				
<i>Faktor D</i>	Typ D I	Typ D II	Typ D III	Typ D IV
<i>Netzmaschengröße</i>	≤ 15 km	> 15 ≤ 30 km	> 30 ≤ 60 km	> 60 km
Befolungsgrad	0,7	0,6	0,5	0,4
<i>Faktor E1</i>	Typ E I Pkw	Typ E II Pkw	Typ E III Pkw	Typ E IV Pkw
<i>Zeitvorteil Pkw je Störung</i>	> 10 % ≤ 20 %	> 20 % ≤ 40 %	> 40 % ≤ 70 %	> 70 %
Befolungsgrad	0,4	0,7	0,8	0,9
<i>Faktor E2</i>	Typ E I Lkw	Typ E II Lkw	Typ E III Lkw	Typ E IV Lkw
<i>Zeitvorteil Lkw je Störung</i>	> 10 % ≤ 20 %	> 20 % ≤ 40 %	> 40 % ≤ 70 %	> 70 %
Befolungsgrad	0,6	0,9	0,95	0,95

Gültigkeitsbereich bei Zeitvorteil von mehr als 60 Minuten				
<i>Faktor D</i>	Typ D I	Typ D II	Typ D III	Typ D IV
<i>Netzmaschengröße</i>	≤ 15 km	> 15 ≤ 30 km	> 30 ≤ 60 km	> 60 km
Befolungsgrad	0,9	0,9	0,8	0,8
<i>Faktor E1</i>	Typ E I Pkw	Typ E II Pkw	Typ E III Pkw	Typ E IV Pkw
<i>Zeitvorteil Pkw je Störung</i>	> 10 % ≤ 20 %	> 20 % ≤ 40 %	> 40 % ≤ 70 %	> 70 %
Befolungsgrad		nicht relevant		
<i>Faktor E2</i>	Typ E I Lkw	Typ E II Lkw	Typ E III Lkw	Typ E IV Lkw
<i>Zeitvorteil Lkw je Störung</i>	> 10 % ≤ 20 %	> 20 % ≤ 40 %	> 40 % ≤ 70 %	> 70 %
Befolungsgrad		nicht relevant		

Tab. 5-4 Differenzierung des Befolungsgrades für den Anwendungsfall S (Schätzwerte)

Verfahrensschritt S5

Über die Kenntnis des Befolungsgrades (Verfahrensschritt S4) lassen sich die Zeitvorteile für die tatsächlich beeinflussten Verkehrsteilnehmenden (Pkw und Lkw) zu den einzelnen relevanten Anschlussstellen während einer einzelnen Störung auf der Normalroute darstellen.

Auf die Berücksichtigung der aus diesem geänderten Verhalten bei der Routenwahl resultierenden Minderung des Verkehrsaufkommens im Bereich der Störung wird an dieser Stelle verzichtet. Prinzipiell wäre es auch möglich, diese Minderung, wie im Anwendungsfall A (Verfahrensschritt A6; siehe Kapitel 5.3.3) dargestellt, zur Entlastung des gestörten Bereiches und damit mit positiver Wirkung auf die Störungsentwicklung zu berücksichtigen.

5.3.3 Anwendungsfall A (Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung)

Verfahrensschritt A1

In diesem Verfahrensschritt werden die einzelnen Störungen auf der Normalroute über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwei Jahren erfasst und ausgewertet. Die Beschreibung der Störung erfolgt durch:

- die Lage der Störungswurzel auf der Normalroute
- die räumliche Ausdehnung einer Störung (Störungslänge)
- die Differenzierung von Streckenabschnitten vor und nach dem gestörten Bereich
- die Störungsdauer
- den Störungstyp zur Beschreibung der Störung

Aufbauend darauf werden verschiedene Zeitfaktoren für jede einzelne Störung ermittelt, die für den Umgang der NBA mit der einzelnen Störung relevant sind.

Zeitfaktor 1:

Prinzipiell sind nur Störungen bedeutsam, aus denen eine Verlustzeit resultiert, die über dem zusätzlichen Zeitaufwand (entspricht der Fahrzeitdifferenz) im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr liegt, der bei Nutzung der Alternativroute entsteht.

Zeitfaktor 2:

Es wird ermittelt, wie hoch der Zeitaufwand für einzelne Pkw und Lkw ist, um vom Entscheidungspunkt bis zum Ende der räumlichen Ausdehnung einer Störung im jeweiligen Zeitintervall zu fahren, ohne dass dabei die in diesem Zeitraum eintretende Veränderung der Fahrzeit durch Ausdehnung oder Verringerung der Störung berücksichtigt wird (quasi-statische Betrachtung). Für den Fall, dass sich innerhalb dieses Zeitraumes die Störung bereits wieder aufgelöst hat, wäre eine Ausweisung der Alternativroute in diesen Fällen nicht nötig. Sollten für die Ermittlung der Fahrzeit bis zum Ende der räumlichen Ausdehnung einer Störung keine Daten aus der vorhandenen Datenerfassung vorliegen, werden als Basiswerte die Geschwindigkeiten im Pkw- und Lkw-Verkehr verwendet, die bereits bei der Ermittlung der Fahrzeiten auf der ungestörten Normal- und Alternativroute genutzt wurden (siehe Tab. 5-3).

Zeitfaktor 3:

Grundlage für die Berechnung ist die zu erwartende Zeitdauer einer Störung, die vom Störungstyp beeinflusst wird. Diese Zeitdauer wird durch Expertenwissen individuell am Ort der Störung (bspw. im Fall eines Unfalls) oder durch Einsatzkräfte einer Verkehrsmanagementzentrale (bspw. im Fall von Überlastungen durch Verkehrsaufkommen) der einzelnen Störung zugeordnet. Prinzipiell lässt sich dabei für den Störungstyp die folgende Differenzierung durchführen:

- Überlastung durch Verkehrsaufkommen
- Fahrstreifenreduktion (durch Baustelle oder Unfall)
- Baustellenverkehrsführung
- Vollsperrung

Zeitfaktor 4:

Es wird die Verlustzeit eines Pkw bzw. Lkw durch eine Störung abgebildet. Für den Störungstyp Vollsperrung werden zwei verschiedene Zustände unterschieden. Zum einen der Zustand, in denen eine Fortbewegungsgeschwindigkeit innerhalb der räumlichen Ausdehnung der Störung angesetzt werden kann, und zum anderen der Zustand, der im Sinne einer Wartezeit bei einer Vollsperrung entsteht (Vollsperrung Situation 1). Im Anschluss an diese Vollsperrung wird dann im sich auflösenden Störungsbereich die Fortbewegungsgeschwindigkeit innerhalb der räumlichen Ausdehnung der Störung angesetzt (Vollsperrung Situation 2). Es wird vorgeschlagen, mit verschiedenen Fortbewegungsgeschwindigkeiten innerhalb der Störungen zu operieren, die von der Anzahl der Fahrstreifen auf der Richtungsfahrbahn und vom Störungstyp

abhängen (siehe Tab. 5-5). Es handelt sich hierbei um Schätzwerte, die im Rahmen von empirischen Erhebungen mit dem Ziel einer Erweiterung der Datenbasis für dieses Verfahren zunächst geprüft werden müssen.

Störungstyp	Anzahl Fahrstreifen	2 Fahrstreifen	3 Fahrstreifen	4 Fahrstreifen
Überlastung durch Verkehrsaufkommen		30 km/h	30 km/h	30 km/h
Fahrstreifenreduktion		35 km/h	40 km/h	45 km/h
Baustellenverkehrsführung		30 km/h	35 km/h	40 km/h
Vollsperrung – Situation 1		0 km/h	0 km/h	0 km/h
Vollsperrung – Situation 2		15 km/h	20 km/h	25 km/h

Tab. 5-5 Fortbewegungsgeschwindigkeiten im Störungsbereich (Schätzwerte)

Zeitfaktor 5:

Neben den beiden Zeitfaktoren 2 und 4, also der Fahrtzeit bis zum Ende der räumlichen Ausdehnung einer Störung und der Fahrtzeit durch den gestörten Bereich wird mit Zeitfaktor 5 auch für den Abschnitt der Normalroute stromabwärts des gestörten Bereiches bis zum Endpunkt der Normalroute die Fahrtzeit eines einzelnen Pkw oder Lkw in der oben beschriebenen Weise ermittelt.

Alle Störungen, die zu kurz sind für die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung (vgl. Zeitfaktor 2), oder deren Einfluss auf die Verkehrsteilnehmenden zu gering ist (vgl. Zeitfaktor 1), werden für die weitere Betrachtung des Anwendungsfalls A ausgegrenzt.

Für jede der verbleibenden Störungen ist es möglich, die zu erwartende Fahrtzeit für einzelne Pkw oder Lkw auf der gestörten Normalroute (ggf. in zwei verschiedenen Zuständen bei Vollsperrung) zu ermitteln und sie der zu erwartenden Fahrtzeit auf der Alternativroute gegenüberzustellen.

Verfahrensschritt A2

Die ermittelten Eingangsgrößen für Einfahrende und Durchfahrende im ungestörten Zustand der Normalroute werden differenziert nach Pkw und Lkw im tageszeitlichen Verlauf an einzelnen Wochentagen auf Intervalllängen von 30 Minuten umgerechnet. Aus dem Verhältnis der einzelnen Werte ergibt sich das Beeinflussungspotential im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr im tageszeitlichen Verlauf an einzelnen Wochentagen.

Verfahrensschritt A3

Die ermittelten Störungen werden mit ihrem zeitlichen Auftreten im Tagesverlauf an einem Wochentag und ihrer Dauer den tageszeitlichen 30 Minuten-Intervallen zugeordnet. Diese Zuordnung ist Grundlage dafür, dass aus dem tageszeitlichen Verlauf des Beeinflussungspotentials (Verfahrensschritt A2) des gleichen Wochentages die entsprechenden Werte des betroffenen Verkehrsaufkommens (Pkw und Lkw) in den relevanten 30 Minuten-Intervallen für die einzelne Störung ermittelt werden können.

Verfahrensschritt A4

In diesem Verfahrensschritt wird der Befolungsgrad angesetzt, um aus dem ermittelten beeinflussbaren Verkehrsaufkommen von Pkw und Lkw (Verfahrensschritt A3) für die Alternativroutenempfehlung während der Störung dasjenige Verkehrsaufkommen zu ermitteln, welches eine Alternativroutenempfehlung befolgen wird. Die Anzahl der Pkw und Lkw wird in 30 Minuten-Intervallen angegeben. Für die Zuordnung des Befolungsgrades wird eine Auswahlliste vorgesehen, die durch folgende Einflüsse charakterisiert sind:

- die Netzmaschengröße (ausgehend von der Länge des Netzabschnittes) – Faktor A
- dem Netzmaschencharakter (ausgehend vom durchschnittlichen Abstand der Anschlussstellen auf der Normalroute) – Faktor B
- dem erzielbaren Zeitvorteil für einzelne Pkw und Lkw durch Nutzung der Alternativroute (gegenüber dem Durchfahren der gestörten Normalroute) – Faktoren C1 und C2

Der Zeitvorteil für die Alternativroute wird hierbei bezogen auf den Zeitaufwand, der bei Nutzung der Normalroute und Durchfahren des gestörten Bereiches entstehen würde. Die Differenzierung des Befolungsgrades nach den einzelnen Eingangsgrößen ist der Tab. 5-6 zu entnehmen. Die Faktoren A, B bzw. C1

und C2 sind dabei für Pkw bzw. Lkw multiplikativ zu verknüpfen. Die Berechnung erfolgt ausgehend vom gesamten beeinflussbaren Verkehrsaufkommen im Anwendungsfall A. Zeitvorteile von weniger als 15 Minuten werden nicht berücksichtigt, weil nach den Erkenntnissen aus den Expertengesprächen die Ausweisung einer Alternativroute erst dann erfolgen wird. Bei den in Tab. 5-6 aufgeführten Werten der Befolungsgrade handelt es sich um Schätzwerte, die im Rahmen von empirischen Erhebungen mit dem Ziel einer Erweiterung der Datenbasis für dieses Verfahren zunächst geprüft bzw. im Detail weiter spezifiziert werden müssen.

Gültigkeitsbereich bei Zeitvorteil zwischen 15 Minuten und 60 Minuten				
<i>Faktor A</i> Netzmaschengröße	Typ A I ≤ 15 km	Typ A II > 15 ≤ 30 km	Typ A III > 30 ≤ 60 km	Typ A IV > 60 km
Befolungsgrad	0,9	0,8	0,7	0,6
<i>Faktor B</i> Netzmaschencharakter (durchschn. Abstand AS)	Typ B I ≤ 2 km	Typ B II > 2 ≤ 4 km	Typ B III > 4 ≤ 7 km	Typ B IV > 7 km
Befolungsgrad	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Faktor C1</i> Zeitvorteil Pkw je Störung	Typ C I Pkw > 10 % ≤ 20 %	Typ C II Pkw > 20 % ≤ 40 %	Typ C III Pkw > 40 % ≤ 70 %	Typ C IV Pkw > 70 %
Befolungsgrad	0,4	0,7	0,8	0,9
<i>Faktor C2</i> Zeitvorteil Lkw je Störung	Typ C I Lkw > 10 % ≤ 20 %	Typ C II Lkw > 20 % ≤ 40 %	Typ C III Lkw > 40 % ≤ 70 %	Typ C IV Lkw > 70 %
Befolungsgrad	0,6	0,9	0,95	0,95

Gültigkeitsbereich bei Zeitvorteil von mehr als 60 Minuten				
<i>Faktor A</i> Netzmaschengröße	Typ AI ≤ 15 km	Typ AII > 15 ≤ 30 km	Typ AIII > 30 ≤ 60 km	Typ AIV > 60 km
Befolungsgrad	1,0	1,0	0,9	0,8
<i>Faktor B</i> Netzmaschencharakter (durchschn. Abstand AS)	Typ BI ≤ 2 km	Typ BII > 2 ≤ 4 km	Typ BIII > 4 ≤ 7 km	Typ BIV > 7 km
Befolungsgrad	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Faktor C1</i> Zeitvorteil Pkw je Störung	Typ C I Pkw > 10 % ≤ 20 %	Typ C II Pkw > 20 % ≤ 40 %	Typ C III Pkw > 40 % ≤ 70 %	Typ C IV Pkw > 70 %
Befolungsgrad	nicht relevant			
<i>Faktor C2</i> Zeitvorteil Lkw je Störung	Typ C I Lkw > 10 % ≤ 20 %	Typ C II Lkw > 20 % ≤ 40 %	Typ C III Lkw > 40 % ≤ 70 %	Typ C IV Lkw > 70 %
Befolungsgrad	nicht relevant			

Tab. 5-6 Differenzierung des Befolungsgrades für den Anwendungsfall A (Schätzwerte)

Bei Ex-Post-Analysen würde in diesem Verfahrensschritt geprüft werden, welcher Befolungsgrad im Zeitraum der Störung wirklich erreicht wurde, indem das Verkehrsaufkommen am Beginn der Alternativroute während der Störung mit demjenigen im ungestörten Zustand im vergleichbaren Zeitraum verglichen wird. Ansätze hierzu liefert das von WERMUTH / WULF 2007 beschriebene Verfahren.

Verfahrensschritt A5

Jedem einzelnen Pkw bzw. Lkw, der entsprechend den bisherigen Verfahrensschritten im Zeitraum der Störung die Alternativroutenempfehlung befolgt, wird der tatsächlich erzielbare Zeitvorteil gegenüber der Fahrt auf der gestörten Normalroute zugeordnet. Als Mindestwert für den Zeitvorteil im Kfz-Verkehr wird der sich für Pkw ergebende Zeitvorteil mit mehr als 10 Minuten angesetzt. Über alle Pkw und alle Lkw, die die Alternativroute nutzen, wird die Summe des Zeitvorteils in den betrachteten 30 Minuten-Intervallen ermittelt, sofern die Bedingung für den Mindestzeitvorteil erfüllt ist.

Verfahrensschritt A6

In dieser Verfahrensstufe wird berücksichtigt, dass sich die Verminderung des Zuflusses in den gestörten Bereich der Normalroute auf den Störungsverlauf positiv auswirken kann. Eine Verminderung des Zuflusses tritt immer dann ein, wenn durch Ausweisung der Alternativroute ein Teil des Verkehrsaufkommens, welches die Normalroute üblicherweise auf voller Länge bis zum Endpunkt befährt, auf die Alternativroute wechselt.

Hierzu wird zunächst die Anzahl der Verkehrsteilnehmenden (im Pkw- und Lkw-Verkehr) in 30 Minuten-Intervallen als Zuflussminderung (als Anteil des üblichen Verkehrsaufkommens im Bereich der Störung) ausgewiesen. Damit werden die Verkehrsteilnehmenden, die im Zeitraum der Störung der Alternativroutenempfehlung folgen (Verfahrensschritt A4), beschrieben. Um auch den Einfluss von Informationen über die Störung aus anderen Quellen (Radiomeldungen, Navigationsdienste etc.) auf den Störungsverlauf zu berücksichtigen, wird je nach Typ der Störung und Maß der Zuflussminderung ein zusätzlicher Prozentsatz des nach Berücksichtigung der Zuflussminderung verbleibenden Verkehrsaufkommens zur Minderung angesetzt (relative Unterschiede der Prozentsätze analog zur Ermittlung des Befolgungsgrades).

Dabei wird zwischen verschiedenen Typen der Störung unterschieden. Folgende Ursachen werden für die Typisierung angesetzt:

- Überlastung durch Verkehrsaufkommen
- Fahrstreifenreduktion (durch Baustelle, Unfall)
- Baustellenverkehrsführung
- Vollsperrung

Über die beiden Minderungsfaktoren werden für den Zeitraum der Störung die Reduzierungen im Pkw- und Lkw-Verkehrsaufkommen im Störungsbereich ermittelt (siehe Tab. 5-7). Es handelt sich hierbei um Schätzwerte, die im Rahmen von empirischen Erhebungen mit dem Ziel einer Erweiterung der Datenbasis für dieses Verfahren zunächst geprüft werden müssen. Hierzu muss für den gestörten Streckenabschnitt das Verkehrsaufkommen im betrachteten Zeitraum der Störung (in 30 Minuten-Intervallen) für den ungestörten Zustand zur Verfügung stehen. Mit dem störungsbasierten Befolgungsgrad wird das (nach Ausweisung der Alternativroutenempfehlung) hier zu erwartende Verkehrsaufkommen im Pkw- und Lkw-Verkehr (in 30 Minuten-Intervallen) angesetzt und die daraus resultierende Zuflussminderung ermittelt. Der Einfluss der Information aus anderen Quellen wird durch zusätzliche Minderung des verbleibenden Verkehrsaufkommens in Abhängigkeit der Zuflussminderung durch die Alternativroutenempfehlung berücksichtigt. Im Zeitraum einer Vollsperrung ist dies nicht relevant. Hier wird erwartet, dass die Zuflussminderung annähernd 100 % betragen wird, so dass sich eine weitergehende Betrachtung dann ausschließt.

Anzahl Fahrstreifen Störungstyp	2 Fahrstreifen			3 Fahrstreifen			4 Fahrstreifen		
	Zuflussminderung	≤ 20 %	20 < x ≤ 40 %	> 40 %	≤ 20 %	20 < x ≤ 40 %	> 40 %	≤ 20 %	20 < x ≤ 40 %
Überlastung durch Verkehrsaufkommen	5 %	15 %	20 %	5 %	10 %	15 %	5 %	5 %	10 %
Fahrstreifenreduktion	10 %	25 %	30 %	10 %	20 %	25 %	10 %	15 %	20 %
Baustellenverkehrsführung	10 %	25 %	30 %	10 %	20 %	25 %	10 %	15 %	20 %
Vollsperrung – Situation 1	nicht relevant								
Vollsperrung – Situation 2	5 %	15 %	20 %	5 %	10 %	15 %	5 %	5 %	10 %

Tab. 5-7 Zusätzliche Minderung des Verkehrsaufkommens durch Informationen aus anderen Quellen nach Störungstyp (Schätzwerte)

Bei Ex-Post-Analysen würde in diesem Verfahrensschritt an dieser Stelle geprüft werden, wie hoch die Minderung insgesamt tatsächlich war, indem das Verkehrsaufkommen im gestörten Bereich mit demjenigen im vergleichbaren Zeitraum ohne Störung verglichen wird. Erkenntnisse hierzu können dazu dienen, die in Tab. 5-7 aufgeführten Schätzwerte zu validieren.

Ausgehend von den unterschiedlichen Ursachen wird hierfür einerseits eine Kapazitätsreduktion (siehe Tab. 5-8) und andererseits ein Zeitvorteil (siehe Tab. 5-9) berücksichtigt, der sich durch das reduzierte Verkehrsaufkommen (als Folge der Schaltung der NBA bzw. auch von anderen Quellen) unter Berücksich-

tigung der reduzierten Kapazität ergibt. Aus der Anzahl von Pkw und Lkw, die den gestörten Bereich weiterhin durchfahren, lässt sich mit dem ausgewiesenen Zeitvorteil andererseits eine Zeitersparnis über alle betroffenen Pkw und Lkw während der Störung ermitteln. Es handelt sich hierbei um Schätzwerte, die im Rahmen von empirischen Erhebungen mit dem Ziel einer Erweiterung der Datenbasis für dieses Verfahren zunächst geprüft werden müssen.

Anzahl Fahrstreifen	2 Fahrstreifen	3 Fahrstreifen	4 Fahrstreifen
Störungstyp			
Überlastung durch Verkehrsaufkommen	-20 %	-20 %	-20 %
Fahrstreifenreduktion	-55 %	-35 %	-30 %
Baustellenverkehrsführung	-10 %	-10 %	nicht relevant
Vollsperrung – Situation 1	-100 %	-100 %	-100 %
Vollsperrung – Situation 2	0 %	0 %	0 %

Tab. 5-8 Kapazitätsreduktion nach Störungstyp (Schätzwerte)

Anzahl Fahrstreifen	2 Fahrstreifen			3 Fahrstreifen			4 Fahrstreifen		
	≤ 10 %	10 < x ≤ 20 %	> 20 %	≤ 10 %	10 < x ≤ 20 %	> 20 %	≤ 10 %	10 < x ≤ 20 %	> 20 %
Störungstyp									
Minderung									
Überlastung durch Verkehrsaufkommen	1 min	1 min	2 min	0 min	1 min	2 min	0 min	1 min	1 min
Fahrstreifenreduktion	1 min	2 min	2 min	1 min	1 min	2 min	1 min	1 min	1 min
Baustellenverkehrsführung	0 min	1 min	1 min	0 min	1 min	1 min	0 min	0 min	1 min
Vollsperrung – Situation 1	nicht relevant								
Vollsperrung – Situation 2	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min	2 min

Tab. 5-9 Zeitvorteil durch Minderung des Verkehrsaufkommens je nach Störungstyp (je km der Störungsstrecke) (Schätzwerte)

Verfahrensschritt A7

In diesem Verfahrensschritt wird das die Kapazität beschränkende Netzelement auf der Alternativroute analysiert. Für dieses Netzelement wird in den Zeitbereichen, in denen eine Alternativroutenempfehlung erfolgt, das Verkehrsaufkommen in tageszeitlichen 30 Minuten-Intervallen nach Pkw und Lkw wochentagspezifisch ausgewiesen. Unter Berücksichtigung der Kapazität dieses Netzelementes lässt sich dann auch die Restkapazität der Alternativroute ermitteln. Dazu wird entweder das für das jeweils relevante Entwurfselement geltende Verfahren gemäß Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) [FGSV 2015] herangezogen oder auf Erfahrungswerte der verantwortlichen Straßenbauverwaltung der Bundesländer bzw. Niederlassung der Autobahn GmbH des Bundes zurückgegriffen.

Verfahrensschritt A8

Die Restkapazität (Verfahrensschritt A7) wird dem durch die Alternativroutenempfehlung in diesem Netzelement zusätzlich auftretenden Verkehrsaufkommen gegenübergestellt. Sofern das zusätzliche Verkehrsaufkommen an dieser Stelle noch leistungsfähig abgewickelt werden kann, schränkt dieses Ergebnis die Alternativroutenempfehlung nicht ein. Falls die Restkapazität überschritten wird, würde dies bedeuten, dass auf die Ausweisung der Alternativroute verzichtet werden muss, so dass in diesen Zeiträumen keine Verbesserung durch Ausweisung einer Alternativroute und Verlagerung von Verkehrsaufkommen auf die Alternativroute erfolgen kann. Gleiches gilt auch, wenn aufgrund einer Störung auf der Normalroute die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung geboten wäre, aber auf der Alternativroute selbst eine Störung existiert.

Bei Ex-Post-Analysen würde in diesem Verfahrensschritt geprüft werden, ob die Restkapazität überschritten wurde oder nicht.

5.4 Darstellung der Verfahrensschritte des vereinfachten Wirksamkeitsanalyseverfahrens

In den Kapiteln 5.4.1 bis 5.4.3 werden die einzelnen Bausteine des vereinfachten Verfahrens und ihre Zusammenhänge beschrieben. Im Anlage 2 wird für dieses Verfahren eine Verfahrensvorschrift dokumentiert, die den Anwendenden bei der praktischen Umsetzung des Verfahrens unterstützen soll.

5.4.1 Ermittlung von Grunddaten

Verfahrensschritt 0

Zunächst wird ausgehend vom Entscheidungspunkt und dem Verlauf der Normalroute festgelegt, wo der Endpunkt für eine Alternativroutenempfehlung im Autobahnnetz liegt. Aus diesen Informationen lässt sich zum einen die Länge der Normalroute und zum anderen die Länge der hier relevanten Alternativroute ermitteln. Somit ist das System der Netzmasche bestimmt. Sofern mehrere Alternativrouten relevant sind, müssen die folgenden Betrachtungen für alle Alternativrouten separat durchgeführt werden.

Die Netzmasche ist definiert durch eine Kombination aus Normalroute und Alternativroute. Die Normalroute ist dabei bezogen auf ein Fernziel, das am Entscheidungspunkt in der statischen Wegweisung („Blaubeschilderung“) dem Streckenverlauf der Normalroute zugeordnet wird. Die Netzmasche endet am Endpunkt, ab dem sich die Routenführung beider Routen in Richtung des Fernziels wieder überlagern. Der Entscheidungspunkt als Beginn der Netzmasche liegt auf der Richtungsfahrbahn einer Autobahn im Zulauf auf einen Autobahnknotenpunkt, in dem auf die Alternativroute gewechselt werden muss. Die Netzmasche wird somit auch durch die zulaufende Richtungsfahrbahn bestimmt. Ihr ist somit auch eine so definierte Gruppe von Verkehrsteilnehmenden zugeordnet. Der Endpunkt ist auf der ihm zugeordneten Richtungsfahrbahn positioniert, auf der Normal- und Alternativroute zum relevanten Fernziel wieder gemeinsam geführt werden.

In Ausnahmefällen ist auch das Vorhandensein von mehr als einer Alternativroute denkbar. Prinzipiell muss dann in der wegweisenden Beschilderung („Blaubeschilderung“) der Autobahnen das Fernziel im Verlauf der weiteren Alternativrouten erscheinen. Dies ist aber in der Regel nicht der Fall. Daher muss an den relevanten Informationsorten im Autobahnnetz mit ergänzenden NBA-Komponenten im Verlauf der Alternativroute dieses Fernziel ergänzend angezeigt werden. Bei der zunehmenden Anzahl von NBA wachsen Einsatzmöglichkeiten ihrer kombinierten Anwendung, aus denen dann auch weitere Alternativrouten für eine Netzmasche entstehen können.

Wesentliche Eingangsgrößen für das Verfahren ergeben sich aus der Ermittlung von Kenngrößen im Verkehr. Hierbei wird zwischen dem Verkehrsaufkommen der Einfahrenden unterschieden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes in die Netzmasche (beschrieben durch Normalroute mit Alternativroute) einfahren, und dem Verkehrsaufkommen der Durchfahrenden, die die gesamte Normalroute üblicherweise (im ungestörten Zustand) bis zum Endpunkt durchfahren. Weiterhin werden Informationen zu den Ausfahrenden auf die Alternativroute stromabwärts des Entscheidungspunktes erforderlich (siehe Bild 5-8). Die Daten müssen zwischen Pkw und Lkw differenziert werden.

Im Verfahren wird unterstellt, dass an den Fahrbahnquerschnitten stromabwärts des Entscheidungspunktes, an dem sich die Einfahrenden für die Normalroute und die Ausfahrenden für die Alternativroute entschieden haben, Verkehrsdaten über einen längeren Zeitraum (basierend auf 30 Minuten-Intervallen über mindestens vier Wochen) bei einer ungestörten Situation auf der Normalroute zur Verfügung stehen. Diese Verkehrsdatenerfassung kann entweder durch ortsfeste Messquerschnitte oder auch durch temporäre lokale Verkehrserhebungen erfolgen.

Die Erhebung der Durchfahrenden sollte idealerweise durch eine Stromverfolgung mittels Kennzeichenerfassung oder ersatzweise durch andere Verfahrensweisen zur Stromverfolgung (bspw. Bluetooth oder FCD) erfolgen. Werden Erhebungen mittels Bluetooth oder FCD verwendet, ist zu beachten, dass dann die Ermittlung nur näherungsweise möglich sein wird, da in diesem Fall nur eine Stichprobe der Durchfahrenden erfasst wird. Die Ableitung der Durchfahrenden ist prinzipiell auch aus einem makroskopischen Verkehrsmodell (mit Tagesverkehrswerten) möglich. Dies ist aber in der Regel mit sehr großen Unschärfen verbunden, weil eine tageszeitliche Zuordnung des Anteils der Durchfahrenden so nicht ohne weiteres möglich ist.

Aus diesen Verkehrserhebungen zu Einfahrenden, Ausfahrenden und Durchfahrenden können Ganglinien auf Basis von 30 Minuten-Intervallen für den Tagesverlauf an einzelnen Wochentagen erstellt werden, die bei der Störungsanalyse im weiteren Verfahrensablauf notwendig werden.

Für den Anwendungsfall A sind sowohl bei Ex-Ante- als auch bei Ex-Post-Untersuchungen diese Verkehrsdaten in dieser Form erforderlich. Bei Ex-Ante-Untersuchungen werden im Verfahren Veränderungen bei den Verkehrsteilnehmenden (im Falle einer Alternativroutenempfehlung) in Bezug auf ihre Entscheidung, der Alternativroute zu folgen, durch Hinzuziehen dieser Verkehrsdaten (für einen mit dem Zeitraum der Alternativroutenempfehlung vergleichbaren Zeitraum) abgeleitet. Bei Ex-Ante-Untersuchungen existiert am Informationsstandort keine NBA und auch keine laufende Verkehrsdatenerfassung, so dass bei diesem Ansatz im Verfahren eine Annahme getroffen wird, welcher prozentuale Anteil der Verkehrsteilnehmenden der Alternativroutenempfehlung folgen wird, indem die davon profitierenden Verkehrsteilnehmenden ermittelt werden. Bei Ex-Post-Untersuchungen wird eine lokale Verkehrsdatenerfassung unterstellt, so dass diese Veränderungen bei den Verkehrsteilnehmenden (infolge einer Alternativroutenempfehlung) direkt mit den laufend erfassten Verkehrsdaten stromabwärts des Entscheidungspunktes gewonnen werden können. Diese Entscheidung wird hierbei durch die Verkehrsteilnehmenden unter dem Einfluss der NBA am Informationsort getroffen.

Für den Anwendungsfall S werden bei Ex-Ante-Untersuchungen die gleichen Prinzipien wie beim Anwendungsfall A angewendet. Diejenigen Verkehrsteilnehmenden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes die Normalroute im ungestörten Zustand wählen, sind die Basis für die Ableitung einer möglichen Auswirkung einer Störungsinformation auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden. Auch hier ist die Zuordnung eines mit dem Störungszeitraum vergleichbaren Zeitraumes aus den Verkehrsdaten im ungestörten Zustand wesentlich. Bei Ex-Post-Untersuchungen können stattdessen aus der laufenden Verkehrsdatenerfassung die Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmenden stromabwärts des Entscheidungspunktes abgeleitet werden, indem die tatsächlich bei einer durch die NBA übermittelten Störungsinformation für die Normalroute Ausfahrenden ausgewertet werden und mit der Anzahl der Ausfahrenden bei einer ungestörten Normalroute gegenübergestellt werden.

Eine Überprüfung der Ähnlichkeit der absoluten Anzahl von Verkehrsteilnehmenden im Vergleichszeitraum (also ohne Einfluss einer NBA) wird bei Ex-Post-Untersuchungen im Verfahren nicht durchgeführt. Dabei müsste für den relevanten Zeitraum die Summe von Einfahrenden und von in Richtung der Alternativroute Ausfahrenden mit und ohne Einfluss einer NBA gegenübergestellt werden. Zur weiteren Verfeinerung des Verfahrens wäre dieser Schritt aber denkbar. Aus Gründen der Praktikabilität wurde aber auf ein einfaches Verfahren wert gelegt, welches sich auf die wesentlichen Zusammenhänge konzentriert. Dieser weitere Schritt kann aber im Rahmen einer softwaregestützten Abbildung des Verfahrens zusätzlich integriert werden.

Aus einem makroskopischen Verkehrsmodell, wie es zur Bundesverkehrswegeplanung beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) für das Autobahnnetz zur Verfügung steht, können ausgehend von den Verkehrsteilnehmenden am Entscheidungspunkt die Anteile der Verkehrsteilnehmenden ausgewiesen werden, die die Normalroute auf gesamter Länge durchfahren (Durchfahrende) oder an den auf der Normalroute liegenden Anschlussstellen die Autobahn verlassen. Dieses Verkehrsmodell liefert aktuell mit einem Prognosehorizont 2030 das modellseitig abgeschätzte Verkehrsaufkommen von Pkw und Lkw für das gesamte deutsche Autobahnnetz. Sofern kleinräumigere Verkehrsmodelle, bspw. auf Basis der Bundesländer, verfügbar sind, können auch diese prinzipiell für die Ermittlung der Eingangsgrößen herangezogen werden, wenn sie die betrachtete Netzmasche komplett beinhalten. Diese Verkehrsmodelle haben in der Regel eine höhere Abbildungsgenauigkeit, da die Verkehrsverflechtungen aufgrund der lokalen Kenntnisse detaillierter modelliert sind. Dies ist aber bei einer Betrachtung auf Basis des Autobahnnetzes weniger relevant. Mit Unterstützung von kollektiven oder individuellen Tagesganglinien für die jeweiligen Streckenabschnitte lässt sich das in diesem Verkehrsmodell als durchschnittlicher täglicher Verkehr an Werktagen (DTV_{W6}) ausgewiesene Verkehrsaufkommen auf einzelne Tagesstunden bzw. 30 Minuten-Intervalle herunterbrechen. Zudem können aus den Verkehrsdaten der Dauerzählstellen im Autobahnnetz Faktoren für die Bestimmung des Verkehrsaufkommens an einem Sonntag (DTV_S) oder an einem Werktag von Montag bis Freitag (DTV_{W5}) gewonnen werden. Maßgeblich für das Verfahren sind die Verkehrsteilnehmenden auf Basis der Auswertung der makroskopischen Verkehrsmodellrechnung, die am Entscheidungspunkt in die Netzmasche einfahren und bis zum Endpunkt der Normalroute auf dieser verbleiben (Durchfahrende). Qualitativ sollte mit den Ergebnissen auch geprüft werden, ob die Netzspinnen in Bezug

auf die Durchfahrenden die Routenvorgaben aus der wegweisenden Beschilderung über die Normalroute zu Fernzielen stromabwärts des Endpunktes einer Netzmasche prinzipiell richtig abbilden.

Um einen Mindestwert für die störungsbedingte Verlustzeit definieren zu können, werden für Pkw und Lkw spezifische Fahrtzeiten angesetzt, die in diesen Fahrzeuggruppen auf der Normal- bzw. auf der Alternativroute entstehen. Sofern keine Informationen zu Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute im ungestörten Zustand aus der vorhandenen Datenerfassung vorliegen, können diese auch aus routingfähigen Netzdaten (bspw. Google Maps) in Zeiträumen ohne Einfluss von Störungen gewonnen werden. Fahrtzeiten können abgeleitet werden, indem dort eine Route zwischen dem Entscheidungspunkt und dem Endpunkt für den tatsächlichen Verlauf der Normalroute definiert wird (ggf. müssen Stützpunkte eingefügt werden, damit die Route auch dem durch die Zielvorgaben in der wegweisenden Beschilderung vorgegebenen Verlauf entspricht). Für die Alternativroute wird analog vorgegangen.

Wesentliche Grunddaten zur Beschreibung der Netzmasche:

- Länge der Normalroute und der Alternativroute

Für die Beschreibung des Verkehrs sind die folgenden Grunddaten relevant:

- 30 Minuten-Werte für Einfahrende (Pkw/Lkw) in die Normalroute im ungestörten Zustand über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen
- 30 Minuten-Werte für Durchfahrende der Normalroute (Pkw/Lkw) im ungestörten Zustand über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen
- 30 Minuten-Werte für Ausfahrende (Pkw/Lkw) auf die Alternativroute im ungestörten Zustand über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen
- Anteil der Durchfahrenden an den Einfahrenden der Normalroute (als DTV_{W6} oder DTV_{W5} mit SV-Anteil) aus einer Routenanalyse mit einem Verkehrsmodell

Auf Alternativrouten muss das Netzelement lokalisiert werden, welches die geringste Kapazität und damit auch für die Alternativroutenempfehlung die vermeintlich geringste Restkapazität besitzt. Für dieses Netzelement ist eine zeitliche Verteilung des Verkehrsaufkommens in 30 Minuten-Intervallen über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen ohne Störung nötig. Idealerweise befindet sich auf diesem Netzelement (bspw. Rampenfahrbahn innerhalb eines Autobahnkreuzes) eine ortsfeste Verkehrsdatenerfassung. Dies wird bei Ex-Post-Untersuchungen in der Regel der Fall sein, da zur Unterstützung der Steuerungsstrategien im laufenden Betrieb diese Verkehrsdaten laufend erforderlich sind. Falls dies nicht der Fall ist, also insbesondere im Rahmen von Ex-Ante-Untersuchungen, muss eine lokale Verkehrserhebung über mindestens vier Wochen erfolgen, um ausreichende Datengrundlagen in Zeiträumen ohne Störung zu erhalten, da diese zu Vergleichszwecken herangezogen werden müssen.

5.4.2 Anwendungsfall S (Weitergabe von Störungsinformationen)

Die Weitergabe der Störungsinformation am Entscheidungspunkt hat, ob mit oder ohne ergänzende Ausweisung einer Alternativroute, auch Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden. Die Anzahl der über die Störung informierten Verkehrsteilnehmenden wird für den Anwendungsfall S zur Beurteilung der Wirksamkeit einer NBA herangezogen. Dies bedeutet, dass die im Folgenden dargestellten Verfahrensschritte zunächst auf diesen Umstand bezogen sind. Wird ergänzend zu der reinen Störungsinformation dann auch eine Alternativroutenempfehlung ausgewiesen, erfolgt die Anwendung der Verfahrensschritte für den Anwendungsfall A dann zusätzlich über den relevanten Zeitbereich. Zudem werden bestehende NBA auch begleitend zu Maßnahmen des Unterhaltes (bspw. Arbeitsstellen kürzerer Dauer oder Wanderbaustellen) in Zeiträumen eingesetzt, in denen sich keine Störung (mit oder ohne Alternativroutenempfehlung) einstellt. Diese weitergehende Nutzungsmöglichkeit einer NBA lässt sich bei Ex-Ante-Untersuchungen mit dem Verfahren nicht berücksichtigen. Bei Ex-Post-Untersuchungen wäre eine Integration im Anwendungsfall S denkbar, wurde aber zunächst nicht berücksichtigt.

Verfahrensschritt S1

Im Verfahrensschritt S1 werden die einzelnen Störungen auf der Normalroute bei Ex-Ante-Untersuchungen über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwei Jahren erfasst und ausgewertet. Im Fall von Ex-Post-

Untersuchungen erfolgt dies ebenfalls über zwei Jahre, jedoch werden hier nur diejenigen Störungen betrachtet, auf die mit der NBA auch durch Schaltungen eingegangen wird. Hierzu werden diesen Zeitraum repräsentierende FCD genutzt, aus denen die Beschreibung der Störung mit folgenden Informationen erfolgt:

- Anfangs- und Endzeitpunkt der Störung
- Störungsdauer
- Verlustzeit je Kfz (Zeitfaktor 1)

Diese Beschreibungsgrößen einer Störung werden auf 30 Minuten-Intervalle bezogen, wie sie auch im Verfahrensschritt 0 verwendet werden. Dies erfolgt über den Anfangs- und Endzeitpunkt einer Störung und deren zeitlichem Verlauf. Für jedes 30 Minuten-Intervall einer Störung wird die maßgebliche Verlustzeit im Kfz-Verkehr aus FCD bestimmt.

Weiterhin sollten aus den FCD auch die Lage des stromaufwärtigen Endes der Störung (bezogen auf den relevanten Streckenabschnitt zwischen zwei Anschlussstellen) und die Länge der räumlichen Ausdehnung einer Störung als Beschreibungsgrößen herangezogen werden. Diese Informationen sind zwar für die Ermittlung der Wirksamkeit nicht zwingend erforderlich, jedoch bei Ex-Post-Untersuchungen hilfreich zur Überprüfung von Anzeigehalten an NBA in Bezug auf die tatsächlich angezeigte Störungsinformation.

Als Mindestdauer einer Störung gelten 15 Minuten, da erst ab dieser Zeitdauer in der Praxis über eine NBA eine Reaktion mittels Störungsinformation auf eine Störung selbst erfolgt. Die Mindestverlustzeit einer Störung mit Relevanz für den Anwendungsfall S wird mit einer Minute definiert. Zur Überprüfung von Anzeigehalten an NBA wäre zudem die Störungsart als Information hilfreich, sie wird aber im Wirksamkeitsanalyseverfahren selbst nicht verwendet.

Im Ergebnis von Verfahrensschritt S1 werden für den Anwendungsfall S nur Störungen berücksichtigt, aus denen eine Verlustzeit resultiert, die über der Mindestverlustzeit liegt. Als weitere Bedingung muss für eine Störung die festgelegte Mindestdauer überschritten sein. Hierin unterscheidet sich die Vorgehensweise bei Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen nicht.

Verfahrensschritt S2

Aus Verfahrensschritt 0 stehen Eingangsgrößen für Einfahrende im ungestörten Zustand der Normalroute zur Verfügung, differenziert nach Pkw und Lkw in 30 Minuten-Intervallen im tageszeitlichen Verlauf an einzelnen Wochentagen. Sie repräsentieren das Beeinflussungspotential mit Bezug zum Anwendungsfall S im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr im tageszeitlichen Verlauf bezogen auf 30 Minuten-Intervalle an vergleichbaren Wochentagen. Die Vorgehensweise muss hier nicht zwischen Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen differenziert werden.

Verfahrensschritt S3

Die ermittelten Störungen sind in Verfahrensschritt S1 mit ihrem zeitlichen Auftreten im Tagesverlauf an einem Wochentag und ihrer Dauer den tageszeitlichen 30 Minuten-Intervallen zugeordnet worden. Diese Zuordnung ist Grundlage dafür, dass aus dem tageszeitlichen Verlauf des Beeinflussungspotentials (Verfahrensschritt S2) des gleichen Wochentages die entsprechenden Werte des betroffenen Verkehrsaufkommens (Pkw und Lkw) in den relevanten 30 Minuten-Intervallen für die einzelne Störung ermittelt werden können, was das Ergebnis des Verfahrensschritts S3 darstellt. Auch hier ist die Vorgehensweise zwischen Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen identisch.

Verfahrensschritt S4

Der Verfahrensschritt S4 wird in Bezug auf die Anwendung in einer Ex-Ante-Untersuchung bzw. in Bezug auf eine Ex-Post-Untersuchung differenziert, da für die Ableitung der Wirksamkeit unterschiedliche Eingangsgrößen bereitstehen.

Im Verfahrensschritt S4-1 werden für Ex-Ante-Untersuchungen die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr über alle Zeitintervalle einer Störung aufsummiert, wobei dazu das Aufkommen herangezogen wird, das sich für die Einfahrenden bei ungestörtem Zustand auf der Normalroute einstellt. Die auf diesem Wege ermittelte Anzahl von Verkehrsteilnehmenden repräsentiert die im Sinne des

Anwendungsfalls S von der Störungsinformation beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für eine Ex-Ante-Betrachtung.

Im Verfahrensschritt S4-2 für Ex-Post-Untersuchungen werden bei Vorliegen einer geeigneten stationären lokalen Datenerfassung als weitere Eingangsgröße die Ausfahrenden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes auf die Alternativroute wechseln, in die Wirksamkeitsanalyse einbezogen. Diese werden über eine NBA am Informationsort über die Störung informiert und verändern deshalb ggf. ihr Verhalten. Hierzu werden für den Ohne-Fall (im Sinne von „ohne eine Störung auf Normal- und Alternativroute“) ausfahrende Verkehrsteilnehmende (differenziert nach Pkw und Lkw) in denjenigen 30 Minuten-Intervallen herangezogen, in denen weder auf der Normal- noch auf der Alternativroute eine Störung vorliegt. Zudem müssen diese Intervalle für den Ohne-Fall in Bezug auf Tageszeit und Wochentag denjenigen Intervallen entsprechen, für die eine Störung analysiert werden kann. Diese Verkehrsdaten entsprechen dann in Bezug auf das Aufkommen der Ausfahrenden einem Ohne-Fall, also dem Fall, in dem keine Störung auf Normal- und Alternativroute vorliegt. Weiterhin werden die Ausfahrenden (differenziert nach Pkw- und Lkw) aus der stationären lokalen Datenerfassung bezogen auf 30 Minuten-Intervalle ermittelt, die zum Zeitpunkt der Störung auf die Alternativroute gewechselt haben (Mit-Fall im Sinne von „mit einer Störung auf der Normalroute“). Durch Bildung der Differenz zwischen den Ergebnissen für den Mit-Fall und den Ergebnissen für den Ohne-Fall kann die Änderung der Anzahl von Ausfahrenden, die am Entscheidungspunkt zusätzlich auf die Alternativroute wechseln, für jedes 30 Minuten-Intervall ermittelt werden. Durch Aufsummieren der Ergebnisse für alle Intervalle während einer Störung ergeben sich die im Sinne des Anwendungsfalls S beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für Ex-Post-Untersuchungen.

5.4.3 Anwendungsfall A (Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung)

Aus einer Alternativroutenempfehlung resultieren Zeitvorteile für die der Empfehlung folgenden Verkehrsteilnehmenden gegenüber der Fahrt auf der Normalroute im gestörten Zustand. Für die Anwendung des Verfahrens ist es dabei unerheblich durch welche Art der Störung (z.B. Stau, Vollsperrung) die Verlustzeit auf der Normalroute hervorgerufen wird. Die Summe dieser Zeitvorteile über alle relevanten Verkehrsteilnehmenden im Pkw- und Lkw-Verkehr wird für den Anwendungsfall A zur Beurteilung der Wirksamkeit einer NBA herangezogen. Prinzipiell liegt dem Verfahren im Anwendungsfall A also zugrunde, dass sich bei Nutzung der Alternativroute Zeitvorteile ergeben. Bestehende NBA werden aber auch begleitend zu Maßnahmen des Unterhaltes (bspw. Arbeitsstellen kürzerer Dauer oder Wanderbaustellen) in Zeiträumen eingesetzt, in denen sich keine Störung (mit oder ohne Alternativroutenempfehlung) einstellt. Diese weitergehenden Nutzungsmöglichkeiten einer NBA lassen sich aber bei Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen im Anwendungsfall A mit dem vorliegenden Verfahren nicht berücksichtigen.

Verfahrensschritt A1

Im Verfahrensschritt A1 werden die einzelnen Störungen auf der Normalroute sowohl bei Ex-Ante- als auch bei Ex-Post-Untersuchungen über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwei Jahren erfasst und ausgewertet. Hierzu werden diesen Zeitraum repräsentierende FCD genutzt, aus denen die Beschreibung der Störung mit folgenden Informationen erfolgt:

- Anfangs- und Endzeitpunkt der Störung
- Störungsdauer
- Verlustzeit je Kfz (Zeitfaktor 1)

Diese Beschreibungsgrößen einer Störung werden auf 30 Minuten-Intervalle bezogen, wie sie auch im Verfahrensschritt 0 verwendet werden. Dies erfolgt über den Anfangs- und Endzeitpunkt einer Störung und deren zeitlichem Verlauf. Für jedes 30 Minuten-Intervall einer Störung wird die maßgebliche Verlustzeit im Kfz-Verkehr aus den FCD bestimmt.

Weiterhin sollten aus den FCD auch die Lage des stromaufwärtigen Endes der Störung (bezogen auf den relevanten Streckenabschnitt zwischen zwei Anschlussstellen) und die Länge der räumlichen Ausdehnung einer Störung als Beschreibungsgrößen herangezogen werden. Diese Informationen sind zwar für die Ermittlung der Wirkung nicht zwingend erforderlich, jedoch bei Ex-Post-Untersuchungen hilfreich zur Überprüfung von Anzeigehalten an NBA in Bezug auf die tatsächlich angezeigte Alternativroutenempfehlung.

Als Mindestdauer einer Störung gelten 15 Minuten, da erst ab dieser Zeitdauer in der Praxis eine Reaktion mittels Alternativroutenempfehlung über eine NBA auf eine Störung selbst erfolgt. Die Mindestverlustzeit durch eine Störung wird für den Anwendungsfall A mit 10 Minuten definiert. Zur Festlegung von Anzeigehalten an NBA wäre zudem die Störungsart als Information hilfreich, sie wird aber im Wirksamkeitsanalyseverfahren selbst nicht verwendet.

Im Ergebnis von Verfahrensschritt A1 werden für den Anwendungsfall A nur Störungen auf der Normalroute berücksichtigt,

- aus denen eine Verlustzeit resultiert, die über dem zusätzlichen Zeitaufwand (entspricht der Fahrtzeitdifferenz) im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr liegt, der bei Nutzung der Alternativroute entsteht (unter Beachtung einer Mindestverlustzeit) und
- die eine festgelegte Mindestdauer überschreiten.

Hierin unterscheidet sich die Vorgehensweise bei Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen nicht.

Verfahrensschritt A2

Aus Verfahrensschritt 0 stehen Eingangsgrößen für Einfahrende und Durchfahrende im ungestörten Zustand der Normalroute, differenziert nach Pkw und Lkw in 30 Minuten-Intervallen im tageszeitlichen Verlauf an einzelnen Wochentagen, zur Verfügung. Aus dem Verhältnis zwischen den einzelnen Werten für Einfahrende und Durchfahrende ergibt sich das Beeinflussungspotential mit Bezug zum Anwendungsfall A im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr im tageszeitlichen Verlauf bezogen auf 30 Minuten-Intervalle an einzelnen Wochentagen. Die Vorgehensweise muss hier nicht zwischen Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen differenziert werden.

Verfahrensschritt A3

Die ermittelten Störungen sind in Verfahrensschritt A1 mit ihrem zeitlichen Auftreten im Tagesverlauf an einem Wochentag und ihrer Dauer den tageszeitlichen 30 Minuten-Intervallen zugeordnet worden. Diese Zuordnung ist Grundlage dafür, dass aus dem tageszeitlichen Verlauf des Beeinflussungspotentials (Verfahrensschritt A2) des gleichen Wochentages die entsprechenden Werte des betroffenen Verkehrsaufkommens (Pkw und Lkw) in den relevanten 30 Minuten-Intervallen für die einzelne Störung ermittelt werden können. Auch hier ist die Vorgehensweise zwischen Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen identisch.

Verfahrensschritt A4

Im Verfahrensschritt A4 wird das die Kapazität beschränkende Netzelement auf der Alternativroute analysiert. Das hierfür relevante Netzelement wird durch das Entwurfselement in Knotenpunkten oder auf Streckenabschnitten mit der infrastrukturseitig geringsten Kapazität definiert. Für dieses Netzelement wird in den Zeitbereichen, in denen eine Alternativroutenempfehlung erfolgt, das Verkehrsaufkommen im ungestörten Zustand auf Normal- und Alternativroute in tageszeitlichen 30 Minuten-Intervallen nach Pkw und Lkw wochentagspezifisch ausgewiesen. Diese Verkehrsdaten sind aus Verfahrensschritt 0 verfügbar. Unter Berücksichtigung der Kapazität dieses Netzelementes lässt sich dann auch die Restkapazität der Alternativroute (als kritischer Wert im Kapazitätsengpass) ermitteln, wobei hier ein quasi-statischer Verkehrsablauf unterstellt wird. Dazu wird entweder das für das jeweils relevante Entwurfselement geltende Verfahren gemäß Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) [FGSV 2015] herangezogen oder auf Erfahrungswerte der verantwortlichen Straßenbauverwaltung bzw. der Niederlassung der Autobahn GmbH des Bundes zurückgegriffen. Bei Ex-Ante-Untersuchungen liegen keine Verkehrsdaten am Kapazitätsengpass der Alternativroute während einer Alternativroutenempfehlung vor. In diesem Fall wird über einen Zeitraum von mindestens vier Wochen das Verkehrsaufkommen dort erfasst, um Aussagen zum Verkehrsaufkommen in Zeitbereichen ohne eine Alternativroutenempfehlung auf der Normalroute zu erhalten. Für Ex-Post-Untersuchungen ist ein Vergleich des Verkehrsaufkommens am Kapazitätsengpass bei Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung auf der Normalroute mit demjenigen ohne eine Empfehlung der Alternativroute möglich. Die Änderung des dortigen Verkehrsaufkommens kann auf die Empfehlung der Alternativroute zurückgeführt werden. Diese Möglichkeit bietet sich, da am Kapazitätsengpass dann eine laufende Verkehrsdatenerfassung verfügbar ist. Im Verfahren selbst wird dieser Aspekt im Schritt A6 berücksichtigt.

Verfahrensschritt A5

Der Verfahrensschritt A5 wird in gleicher Weise wie der Verfahrensschritt S4 des Anwendungsfalls Störungsinformation in der Anwendung bei einer Ex-Ante-Untersuchung bzw. einer Ex-Post-Untersuchung unterschieden, da für die Ableitung der Wirksamkeit unterschiedliche Eingangsgrößen bereitstehen.

Im Verfahrensschritt A5-1 werden für Ex-Ante-Untersuchungen die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr über alle Zeitintervalle einer Störung aufsummiert, wobei dazu das Aufkommen herangezogen wird, das sich für die Einfahrenden bei ungestörtem Zustand auf der Normalroute einstellt. Die auf diesem Wege ermittelte Anzahl von Verkehrsteilnehmenden repräsentiert die durch den Anwendungsfalls A von der Alternativroutenempfehlung beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für eine Ex-Ante-Betrachtung.

Im Verfahrensschritt A5-2 für Ex-Post-Untersuchungen werden bei Vorliegen einer geeigneten stationären lokalen Datenerfassung als weitere Eingangsgröße die Ausfahrenden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes aufgrund der Anzeige der Alternativroutenempfehlung am Informationsstandort ihr Verhalten ändern und auf die Alternativroute wechseln. Hierzu werden für den Ohne-Fall (im Sinne von „ohne eine Störung auf Normal- und Alternativroute“) ausfahrende Verkehrsteilnehmende (differenziert nach Pkw und Lkw) in denjenigen 30 Minuten-Intervallen herangezogen, in denen weder auf der Normal- noch auf der Alternativroute eine Störung vorliegt. Zudem müssen diese Intervalle für den Ohne-Fall in Bezug auf Tageszeit und Wochentag denjenigen Intervallen entsprechen, für die eine Störung analysiert werden kann. Weiterhin werden die Ausfahrenden (differenziert nach Pkw- und Lkw) aus der stationären lokalen Datenerfassung bezogen auf 30 Minuten-Intervalle ermittelt, die zum Zeitpunkt der Störung auf die Alternativroute gewechselt haben (Mit-Fall im Sinne von „mit einer Störung auf der Normalroute“). Durch Bildung der Differenz zwischen den Ergebnissen für den Mit-Fall und den Ohne-Fall kann die Änderung der Anzahl von Ausfahrenden, die am Entscheidungspunkt zusätzlich auf die Alternativroute wechseln, für jedes 30 Minuten-Intervall ermittelt werden. Durch Aufsummieren der Ergebnisse für alle Intervalle während einer Störung ergeben sich die im Sinne des Anwendungsfalls A beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für Ex-Post-Untersuchungen.

Jedem einzelnen Pkw bzw. Lkw, der im Ergebnis der bisherigen Verfahrensschritte im Zeitraum der Störung die Alternativroutenempfehlung befolgen würde, wird der tatsächlich erzielbare Zeitvorteil gegenüber der Fahrt auf der gestörten Normalroute zugeordnet. Als Mindestwert für den Zeitvorteil im Kfz-Verkehr wird der sich für Pkw ergebende Zeitvorteil mit mehr als 10 Minuten angesetzt. Über alle Pkw und alle Lkw, für die die Alternativroute somit attraktiv ist (ex-ante) bzw. welche zusätzlich auf die Alternativroute gewechselt haben (ex-post), wird die Summe des Zeitvorteils in den betrachteten 30 Minuten-Intervallen ermittelt, in denen die Bedingung für den Mindestzeitvorteil erfüllt ist.

Verfahrensschritt A6

Die Restkapazität (Verfahrensschritt A4) wird dem durch die Alternativroutenempfehlung in diesem Netzelement zusätzlich auftretenden Verkehrsaufkommen gegenübergestellt. Sofern das zusätzliche Verkehrsaufkommen an dieser Stelle noch leistungsfähig abgewickelt werden kann, schränkt dieses Ergebnis die Alternativroutenempfehlung nicht ein. Falls die Restkapazität überschritten wird, wird auf die Ausweisung der Alternativroute verzichtet, so dass in diesen Zeiträumen keine Verbesserung durch Ausweisung einer Alternativroute und Verlagerung von Verkehrsaufkommen auf die Alternativroute erfolgen kann. Gleiches gilt auch, wenn aufgrund einer Störung auf der Normalroute die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung geboten wäre, aber auf der Alternativroute selbst eine Störung existiert.

Hierin unterscheidet sich die Vorgehensweise bei Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen nicht. Bei Ex-Post-Untersuchungen würde in diesem Verfahrensschritt zusätzlich geprüft werden, ob die Restkapazität überschritten wurde oder nicht.

5.5 Abgrenzung des Einsatzbereich des Wirksamkeitsanalyseverfahrens

Mit dem entwickelten Verfahren wird eine einzelne Netzmasche ausgehend vom Informationsstandort einer dWiSta-Anzeige analysiert. Es werden also nur die Verkehrsteilnehmenden in das Verfahren eingebunden, die sich dieser expliziten dWiSta-Anzeige in Verbindung mit der Nutzung der Normalroute einer Netzma-

sche zuordnen lassen. Somit ist dieses Verfahren auch geeignet, um mittels mehrfacher Anwendung vermaschte oder verkettete NBA zu betrachten. Die Wirksamkeitsbeiträge verschiedener an einem Informationsstandort (dWiSta-Anzeige) beginnender Netzmaschen (also mit unterschiedlichen Endpunkten) werden durch eine Netzmaschen-spezifische Anwendung des Verfahrens ermittelt. Befindet sich eine zusätzliche dWiSta-Anzeige im weiteren Verlauf der Normal- oder Alternativroute einer Netzmasche, beschreibt auch dieser Standort den Beginn einer ihm zugeordneten Netzmasche, so dass das Verfahren hierauf analog angewendet werden kann. Durch diese Verfahrensweise kann ein Beitrag zum Aufbau eines Systems hoher Flexibilität mit Standorten von dWiSta-Anzeigen zur Reaktion auf Störungen im Autobahnnetzes geleistet werden.

Das Verfahren wurde methodisch so aufgebaut, dass es im Rahmen von Ex-Ante-Untersuchungen zur Wirksamkeitsabschätzung bzw. im Sinne einer Wirksamkeitsermittlung in Ex-Post-Untersuchungen herangezogen werden kann. Somit ist die Vergleichbarkeit der erzielten Ergebnisse aus diesen Untersuchungsformen gegeben. Bei Ex-Post-Untersuchungen steht dabei der Vergleich mit einer Situation ohne eine NBA im Fokus.

Für die Erneuerung einer bestehenden NBA kann aus dem Anwendung des Verfahrens keine Begründung abgeleitet werden, da in diesem Fall die von der NBA unbeeinflussten Situationen für das Verfahren nicht zur Verfügung stehen. Hierzu sind alternative Methoden zur Nachweisführung über die Analyse von Einsatzzeiten der bestehenden NBA und/oder die Anzahl der Störungen, auf die mittels einer Strategie in der NBA reagiert wurde, heranzuziehen.

Die Gruppe der notwendigen Eingangsgrößen in Bezug auf das Verkehrsaufkommen und die Wirkungen der einzelnen Störungen ist auf diejenigen Typen beschränkt worden, die für eine Anwendung im deutschen Autobahnnetz durch Beschaffung („Buy“) oder Erfassung („Make“) verfügbar sind.

Im Verfahren wird die unterschiedliche Charakteristik der durch eine NBA erzielbaren Wirkungen im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr durch die Differenzierung dieser Fahrzeugklassen berücksichtigt. Um das Verkehrsaufkommen in der Netzmasche und die zeitliche Verteilung in das Verfahren einzubinden sind neben Verkehrsdaten aus stationären lokalen Erfassungssystemen auch Fahrzeitinformationen, welche mit Methoden der Stromverfolgung (Erfassung mittels ANPR oder Bluetooth oder FCD) nötig.

Die für die Verfahrensanwendung erforderlichen Datengrundlagen haben eine einheitliche Struktur und folgen dabei dem Grundsatz, dass sie quantifizierbar sein und nachvollziehbar bleiben sollen, um auf ihrer Basis belastbare Ergebnisse ableiten zu können.

Maßgebliche Kenngröße, über die die Wirksamkeit einer NBA bewertet wird, ist die Veränderung des Zeitaufwandes bei den durch eine Störung auf der Normalroute betroffenen Verkehrsteilnehmenden. Jede einzelne Störung wird hierbei mit der aus ihr resultierenden Verlustzeit über den zeitlichen Störungsverlauf in das Verfahren integriert. Weitere Beschreibungsgrößen einer Störung finden im Verfahren keinen Eingang, weil mit der Verlustzeit die Wirkung einer Störung hinreichend gut beschrieben werden kann. Grundlage für die Verlustzeit sind kostenpflichtige FCD privatwirtschaftlicher Lieferanten oder ggf. auch Daten aus alternativen Erfassungssysteme bei der Autobahn GmbH des Bundes.

Die Anwendung des Verfahrens kann ggf. vereinfacht werden, indem im Rahmen einer detaillierten Störungsanalyse Cluster von Störungen für regelmäßig wiederkehrende (belastungsabhängige) Störungen, wie sie bspw. in den Spitzenstunden des Berufsverkehrs auftreten können, definiert werden, nach denen die typisierbaren Störungen geclustert werden. In diesem Fall wäre eine spezifische Analyse jeder einzelnen Störung entbehrlich.

6 Steuerungsstrategien in der Netzbeeinflussung

Steuerungsstrategien verbinden die Möglichkeiten von Netzbeeinflussungsmaßnahmen mit Ereignissen im betroffenen Straßennetz. Sie basieren auf den in der Wirksamkeitsanalyse (siehe Kapitel 5) unterstellten Zusammenhängen und repräsentieren deren Überführung in den operativen Betrieb.

6.1 Grundüberlegungen zur Definition von Netzbeeinflussungsstrategien

Um Ereignisse im Straßennetz zu erkennen, für die Maßnahmen der Netzbeeinflussung ergriffen werden sollen, müssen kapazitätsbedingte Überlastungen von Verkehrsanlagen bzw. Teilbereichen des Netzes oder Stauereignisse durch Störungen (bspw. aufgrund von Unfall oder Arbeitsstelle) im laufenden Betrieb erfasst werden. Hierzu stehen prinzipiell auch bei den Steuerungsstrategien die zu den Verfahren für die Wirksamkeitsanalyse spezifizierten Verkehrsdaten zur Verfügung, wobei auch bei den Steuerungsstrategien berücksichtigt wird, dass sich der Datenbedarf mit vertretbarem Aufwand laufend ermitteln lässt. Nach der Situationserkennung aus dem verfügbaren Datenmaterial erfolgt, wie im Verfahren nach dem MARZ 2018 [BAST 2018] dargestellt, eine Bewertung der Situation, für welche anschließend die Auslösung einer Maßnahme (in diesem Fall die Anzeige einer Störungsinformation oder Alternativroutenempfehlung auf einer dWiSta-Anzeige) geprüft wird. Die vorliegenden Überlegungen zur Wirksamkeit von Netzbeeinflussungsmaßnahmen basieren auf der Analyse der Fahrtzeitbilanzen innerhalb der betrachteten Netzbereiche. Die Vorgehensweisen zur Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen sollten dabei die gleichen Entscheidungsgrundlagen zur Aktivierung von Maßnahmen berücksichtigen, wie im operativen Betrieb. Aus diesem Grund sollten die Entscheidungen innerhalb der Steuerungsstrategien in der Netzbeeinflussung ebenfalls auf Basis der vorliegenden Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute erfolgen. Die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise zur Strategiedefinition greift diesen Ansatz auf. Die wesentlichen Inhalte basieren auf den Überlegungen der „Konzeption eines einheitlichen Strategiemanagements als Grundlage für die Netzbeeinflussung auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen“ [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018], welche im Auftrag und in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (Straßen.NRW) erarbeitet wurde. Diese Überlegungen sind in der Folge als regelbasierte NBA, bei der Vorschläge für Anzeigeinhalte auf den einzelnen dWiSta-Anzeigen auf Basis der vorhandenen Fahrt- und Verlustzeiten automatisch generiert und anschließend durch die Mitarbeitenden in der Verkehrszentrale bestätigt werden, für das gesamte Autobahnnetz in Nordrhein-Westfalen umgesetzt worden [ROSE / ESTEL 2021]. Bevor die Methodik der Steuerungsstrategie in Kapitel 6.2 dargestellt wird, sind im Folgenden die wesentlichen Randbedingungen und Festlegungen sowie die erforderlichen Vorarbeiten und die aufzubereitenden Eingangsdaten zusammengestellt.

Festlegungen:

Zur Erarbeitung eines einheitlichen Vorgehens für die Strategieplanung wurden folgende Festlegungen berücksichtigt:

- Als Strategie wird generell die Reaktion auf eine oder mehrere Störungen im Autobahnnetz bezeichnet. Diese Strategie kann entweder lediglich eine Information zu den aktuellen Störungen sein oder zusätzlich eine Alternativroutenempfehlung enthalten.
- Als Auslöser für eine Strategie wird mindestens eine Störung im Verkehrsablauf berücksichtigt.
- Als Ausgangspunkt für eine Strategie wird der Informationsstandort vor einem Entscheidungspunkt (Autobahnkreuz bzw. Autobahndreieck) betrachtet.
- Ein Entscheidungspunkt stellt einen Knotenpunkt im betrachteten Streckennetz, das heißt ein Autobahnkreuz oder -dreieck, dar. An diesen Punkten müssen Verkehrsteilnehmende eine Entscheidung bezüglich der weiteren Routenwahl treffen.
- Für die Definition von Schaltstrategien zur Weitergabe von Informationen zur Verkehrslenkung muss die bestehende statische Wegweisung (sogenannte „Blaubeschilderung“) berücksichtigt werden. Anhand dieser Beschilderung lässt sich, ausgehend von jedem Punkt im Netz, bestimmen, welche Routen im Autobahnnetz zu einem ausgewählten Fernziel vorgesehen sind. Bei dieser Analyse ist die Kontinuität der Wegweisung zu gewährleisten. Das heißt, es ist anzustreben, dass ein Zielpunkt bzw. Zielgebiet, sobald es auf einer Strecke erstmals in der Wegweisung angezeigt

wurde, im weiteren Streckenverlauf bis zum Erreichen des Ziels an allen Entscheidungspunkten wiederholt wird.

- Zur Weitergabe von Informationen zur Verkehrslenkung sollte jeweils mindestens ein Fernziel oder Zielbereich angegeben werden. Aufgrund der räumlichen Ausdehnung von Großstädten können diese Zielpunkte durch unterschiedliche Anschlussstellen auf ggf. mehreren Autobahnen erreichbar sein. Ein exaktes Routing durch eine Alternativroute ausschließlich innerhalb des Autobahnnetzes ist nicht in allen Fällen möglich/sinnvoll. In diesen Fällen entstehen „offene“ Netzmaschen, bei denen das Routing zum eigentlichen Zielpunkt über das nachgeordnete Straßennetz erfolgt.

Notwendige Vorarbeiten / Eingangsdaten:

Für ein einheitliches, systematisches Vorgehen bei der Strategiedefinition für das jeweils betrachtete Straßennetz sind Vorüberlegungen anzustellen und Eingangsdaten aufzubereiten:

- Festlegung der für eine verkehrslenkende Netzbeeinflussung relevanten Fernziele
Als Grundlage hierfür können folgende Ansätze als Orientierung genutzt werden:
 - Definierte Oberzentren nach dem „System zentraler Orte“ im Zuständigkeitsbereich des Straßenbaulastträgers
 - Relevante Mittelzentren im Umfeld der einzelnen Entscheidungspunkte
 - Fernziele, auf die in der vorhandenen Blaubeschilderung verwiesen wird, welche sich jedoch außerhalb des betrachteten Straßennetzes befinden
- Zuordnung der naheliegenden Fernziele zu jedem Entscheidungspunkt
In Abhängigkeit der Annäherungsrichtung an einen Entscheidungspunkt können ggf. mehrere Fernziele zugeordnet werden. Diese Entscheidung ist relevant für die Weitergabe von Informationen zur Verkehrslenkung. In diesem Fall sollte i.d.R. das dem Entscheidungspunkt nähergelegene Fernziel verwendet werden.
- Definition des Beeinflussungsbereiches einer NBA-Maßnahme an einem Entscheidungspunkt
Für jeden Entscheidungspunkt ist festzulegen, für welchen Einflussbereich des Straßennetzes Störungen relevant sind und zur Auslösung einer NBA-Maßnahme am Entscheidungspunkt führen.
- Aufbereitung der Charakteristik des Straßennetzes
Maßgeblich hierbei ist die Zusammenstellung der Streckenlängen und Fahrtzeiten für die einzelnen Streckenabschnitte. Dabei sollte zum einen eine zeitliche Differenzierung (in Form von Tagesganglinien) sowie zum anderen eine Unterscheidung zwischen Pkw- und Lkw-Fahrtzeiten vorgenommen werden.
Zur Bestimmung der maßgeblichen Fahrtzeiten können folgende Quellen genutzt werden:
 - Berechnung der Fahrtzeiten aus den mittleren Geschwindigkeiten der einzelnen Streckenabschnitte (auf Basis der ortsfesten Datenerfassung)
 - Eigene Verkehrsdatenerfassung der Fahrtzeiten mittels Bluetooth oder ANPR
 - Datenlieferungen Dritter (FCD)
- Informationen zur Verkehrslage im Straßennetz
Für alle Abschnitte zwischen den Entscheidungspunkten sollten Informationen zur Verkehrssituation vorliegen. Als Grundlage der Bestimmung der Verkehrssituation können ebenfalls die zur Charakterisierung des Straßennetzes verfügbaren Datenquellen verwendet werden.
- Informationen zur Störungscharakteristik
Für die Netzbeeinflussung ist entscheidend, in welcher Art und Weise die Netzabschnitte gestört sind. Diese Informationen können aus RDS-TMC-, TPEG-, oder TIC-Meldungen, aus Verkehrsmeldungen von Einsatzkräften der Polizei oder den Landesmeldestellen zusammengetragen werden. Wichtige Inhalte der Störungsinformationen sind hierbei:
 - Lage der Störung
Wie weit liegt das Störungsende vom Entscheidungspunkt entfernt?
Welche Anschlussstellen sind von der Störung betroffen?

- Art der Störung
Welche Ursachen liegen der Störung zugrunde?
Die Störungen sollten mind. in folgende Arten unterschieden werden:
 - Vollsperrung
 - Stau
 - Ereignis (z. B. Großveranstaltung)
 - Baustelle
 - Teilspernung für Gruppen von Verkehrsteilnehmenden (z. B. Lkw-Verkehr, nicht elektrifizierte Fahrzeuge)

Hinweis: Sowohl die Störungsart als auch der Störungstyp charakterisieren die Störung hinsichtlich der Ursache. Die Unterscheidung nach Störungstyp (siehe Kapitel 5.3) beleuchtet dabei im Wesentlichen den Einfluss der Störung auf die Kapazitätseinschränkung (in Bezug auf die Sperrung einzelner Fahrstreifen), um basierend darauf Abschätzungen zur Störungsentwicklung vorzunehmen. Die Unterscheidung nach Störungsart im Rahmen der Steuerungsstrategien hingegen berücksichtigt eher die Beeinflussbarkeit und Vorhersagbarkeit der Störungsentwicklung.
- Umfang der Störung
Welche Auswirkung (Staulänge, Verlustzeit) hat die Störung?
- Zeitpunkt der Störung
Zu welcher Tageszeit liegt die Störung vor?
- Dauer der Störung - zeitliche Ausdehnung (soweit bekannt)
Wie lang dauert die Störung an?
- Priorisierung von Störungen
Für die Priorisierung der Störfälle hinsichtlich der Störungsart wird folgende Reihenfolge vorgeschlagen (vgl. Kapitel 2.1.2 und [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018]):
 1. Vollsperrung
 2. Stau
 3. Ereignis (geplant z. B. Großveranstaltung oder ungeplant z. B. Unfall)
 4. Baustelle
 - n Teilspernung für Gruppen von Verkehrsteilnehmenden (z. B. Lkw-Verkehr) (n, n = 2 ... 5)

Die Einordnung von Störfällen der Störungsart „Teilspernung für Gruppen von Verkehrsteilnehmenden“ in der Priorisierungsreihenfolge soll jeweils unter Berücksichtigung der lokalen Randbedingungen erfolgen. Angezeigt werden soll jeweils der Störfall mit der höchsten Priorität. Gibt es an einem Informationsstandort mehrere Störfälle mit der gleichen Priorität, so wird der Störfall angezeigt, dessen Entfernung zum Entscheidungspunkt am geringsten ist.

6.2 Methodischer Ansatz zur Strategiedefinition

Für die Entwicklung einer Steuerungsstrategie zur Weitergabe der Information über einen Störfall auf der Strecke ist es erforderlich zu bestimmen, ob der Störfall für die Anzeige am jeweiligen Informationsstandort für den Verkehrsteilnehmenden relevant ist. Hierbei ist vor allem die Verortung des Störfalls entscheidend, da nur Informationen zu Störfällen angezeigt werden, die sich im Beeinflussungsbereich des Informationsstandortes und auf der Normalroute zu einem, vom Informationsstandort ausgehenden, relevanten Fernziel befinden.

Zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung ist zum einen die Analyse des Streckennetzes notwendig, um jeweils geeignete Alternativrouten zu identifizieren, zum anderen muss die Alternativroutenempfehlung

an Verkehrsteilnehmende kommuniziert werden können. Ausgehend vom Informationsstandort sind mögliche Netzmaschen, bestehend aus Normal- und Alternativroute, zu den jeweiligen Endpunkten bzw. deren zugeordneten Fernzielen zu bilden:

- Die Normalroute dieser Netzmasche beschreibt i.d.R. die empfohlene Route zum Fernziel, falls im Netz aktuell keine Störungen bestehen, und entspricht der Wegweisung der Blaubeschilderung ab dem Informationsstandort.
- Auf der Alternativroute ist es zumeist nicht möglich, die gleichen Fernziele wie auf der Normalroute allein mit Hilfe der Blaubeschilderung zu erreichen. Daher werden auf Anzeigen am Informationsstandort im Bedarfsfall Informationen zum Routenverlauf der vorgesehenen Alternativroute angegeben. Für die Auswahl der Alternativroute sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:
 - Der Routenverlauf der Alternativroute muss dem Verkehrsteilnehmenden am Startpunkt angezeigt werden können. Auf dWiSta-Anzeigen mit drei Textzeilen können nur Routen mit max. zwei Autobahnwechsellinien (inkl. des Autobahnwechsels am Startpunkt der Netzmasche) vollständig angezeigt werden. Diese Einschränkung ist bei Verwendung von LED-Vollmatrix-Anzeigen zwar nicht mehr gegeben, zur Gewährleistung der Verständlichkeit und Verarbeitbarkeit der angezeigten Informationen für den Verkehrsteilnehmenden sollten jedoch nicht mehr als drei Routing-Informationen weitergegeben werden.
 - Sollte eine Alternativroute über mehr als drei Autobahnen verlaufen, so muss zur Gewährleistung der Durchgängigkeit der Wegweisung (Kontinuitätsregel) im Verlauf der Alternativroute entweder das Fernziel der Netzmasche spätestens am zweiten Autobahnwechsel in der Blaubeschilderung enthalten sein oder es muss eine weitere Anzeigemöglichkeit vorhanden sein, auf der der weitere Verlauf der Alternativroute für den Verkehrsteilnehmenden angezeigt werden kann.

Die Anzeigemöglichkeiten auf den dWiSta-Anzeigen ist i.d.R. begrenzt. Zudem sollten maximal zwei Fernziele angezeigt werden. Bei der Festlegung der anzuzeigenden Fernziele für eine Alternativroutenempfehlung können folgende Auswahlkriterien herangezogen werden:

- Gibt es vom Endpunkt der Netzmasche ausgehend mehrere weiterführende Autobahnen, so sollten sich die angezeigten Fernziele nach Möglichkeit nicht beide im Verlauf der gleichen dieser weiterführenden Autobahnen befinden.
- Liegen die beiden angezeigten Fernziele im Verlauf der gleichen weiterführenden Autobahn, so sollte das nächstgelegene Fernziel zuerst genannt werden.
- Kann oder soll nur ein Fernziel angezeigt werden, so ist das Fernziel zu wählen, welches auf der Normalroute ohne einen zusätzlichen Autobahnwechsel am Endpunkt der Netzmasche erreicht werden kann und dem Entscheidungspunkt am nächsten liegt.

Für jeden Informationsstandort ist festzulegen, welcher Bereich des Netzes mit einer Anzeige beeinflusst werden kann. Im Zusammenhang mit den o.g. Randbedingungen für die Anzeige von Alternativroutenempfehlungen sind ausgehend vom Entscheidungspunkt am Informationsstandort zunächst Störungen auf den Netzabschnitten bis zum übernächsten Autobahnkreuz / -dreieck relevant.

Hierfür sollte für die Berücksichtigung von Störungen eine festgelegte Reihenfolge der Netzabschnitte berücksichtigt werden (siehe Bild 6-1). Dabei gilt:

- Je näher sich die Störung am Entscheidungspunkt befindet, desto höher ist deren Priorisierung.
- Störungen auf der gleichen Autobahn (i.d.R. die geradeaus führenden Netzabschnitte an den AK / AD) haben höhere Priorität als Störungen auf abzweigenden oder kreuzenden Autobahnen.

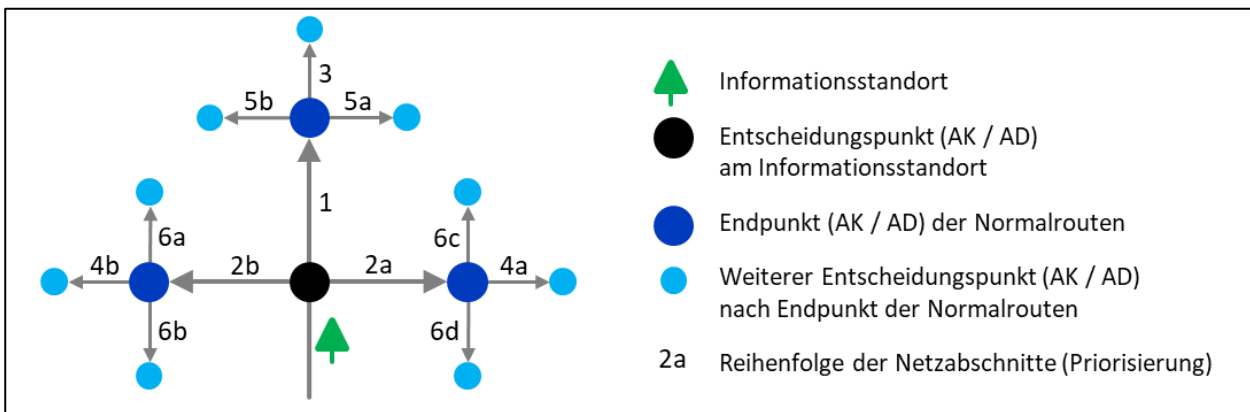


Bild 6-1 Reihenfolge der Netzabschnitte im Beeinflussungsbereich für die Netzbeeinflussung (angelehnt an [GERSTENBERGER / KLEMENTZ 2018] und [ROSE / ESTEL 2021])

Auf Basis der aktuell vorhandenen Informationen zur Verkehrslage und Störungscharakteristik im Netz sind Kriterien zur Auslösung von Steuerungsstrategien festzulegen. Die Steuerungsstrategien betreffen dabei Maßnahmen der Verkehrsinformation sowie Maßnahmen der Verkehrslenkung. In Abhängigkeit der Art der vorliegenden Informationen sollten als Auslösekriterien herangezogen werden:

- die aus der Störung resultierende mittlere Verlustzeit $t_{v,m}$
- die Staulänge l_{stau} (sofern keine Informationen über Verlustzeiten vorliegen)

Zur Verdeutlichung der Steuerungsstrategie dient das Beispielnetz in Bild 6-2. Ausgehend vom Entscheidungspunkt (am AK der Autobahnen 1 und 2) sind Routen zu folgenden Fernzielen am Informationsstandort ausweisbar:

- Fernziel A über Netzabschnitt 1 auf Autobahn 1 in Richtung Nord
- Fernziel B über Netzabschnitt 2 auf Autobahn 2 in Richtung Ost
- Fernziel C über Netzabschnitte 2 und 5 auf Autobahn 2 in Richtung Ost und weiter auf Autobahn 4 in Richtung Ost
- Fernziel D über Netzabschnitte 2 und 5 auf Autobahn 2 in Richtung Ost und im weiteren Verlauf auf Autobahn 2 in Richtung Ost
- Fernziel E über Netzabschnitte 1 und 4 auf Autobahn 1 in Richtung Nord und im weiteren Verlauf auf Autobahn 1 in Richtung Nord
- Fernziel F über Netzabschnitte 1 und 4 auf Autobahn 1 in Richtung Nord, über Netzabschnitt 10 auf Autobahn 4 in Richtung West und im weiteren Verlauf auf Autobahn 4 in Richtung West
- Fernziel G über Netzabschnitte 3 und 6 auf Autobahn 2 in Richtung West
- Fernziel H über Netzabschnitt 3 auf Autobahn 2 in Richtung West und im weiteren Verlauf auf Autobahn 3 in Richtung Süd

Die aufgelisteten Routen entsprechen dabei den Normalrouten, die auch über die vorhandene statische Wegweisung (Blaubeschilderung) ausgewiesen sind.

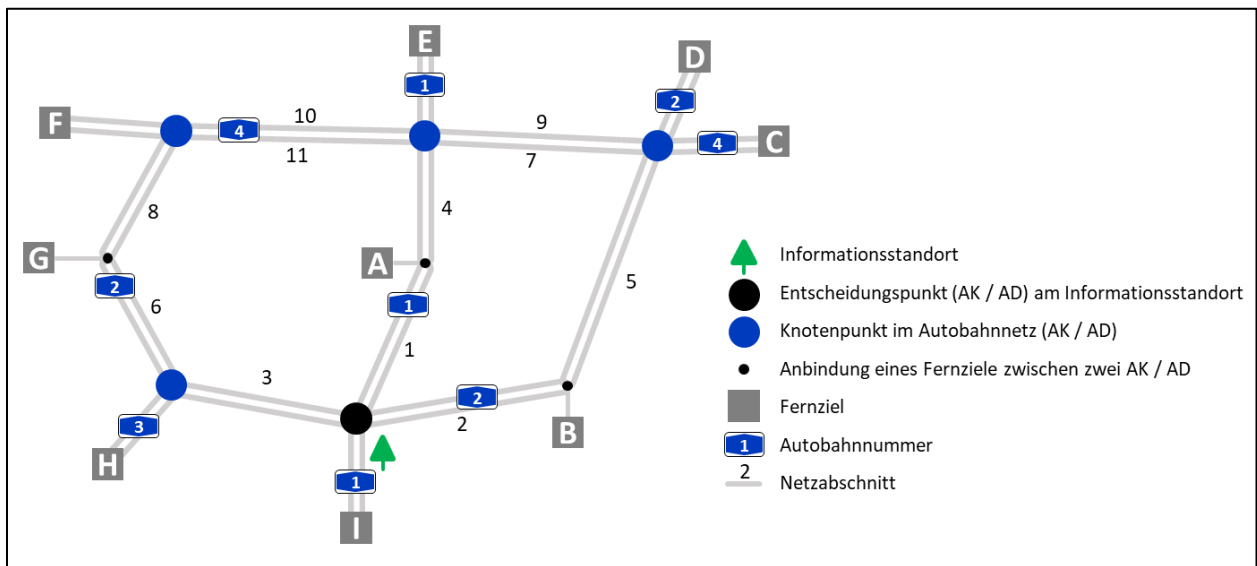


Bild 6-2 Beispielnetz zur Darstellung der Strategiedefinition

Die mittlere Fahrtzeit aller Fahrzeuge für das Durchfahren des relevanten Streckenabschnitts kann als robuste Kenngröße für die Qualität des Verkehrsablaufs auf Autobahnen angesehen werden. Liegt keine Störung vor, entspricht die aktuelle mittlere Fahrtzeit t_F der üblichen mittleren Fahrtzeit im freien Verkehr $t_{F,0}$ und die mittlere Verlustzeit $t_V = 0$. Sobald eine für die Netzbeeinflussung relevante Störung vorliegt, liegt die aktuelle Fahrtzeit t_F über der mittleren Fahrtzeit im freien Verkehr $t_{F,0}$ und die Verlustzeit steigt deutlich ($t_V \gg 0$).

6.2.1 Strategie zur Anzeige von Störungsinformationen

Für die Anzeige einer Störung auf einem Netzaabschnitt d in einer NBA sollte diese eine Mindestausdehnung $l_{Stau,d,min}$ bzw. eine Mindestverlustzeit $t_{V,d,min}$ aufweisen. Diese Schwellwerte können für das gesamte betrachtete Straßennetz einheitlich definiert oder individuell in Abhängigkeit der Streckencharakteristik festgelegt werden.

Auslösekriterium Störungsinformation:

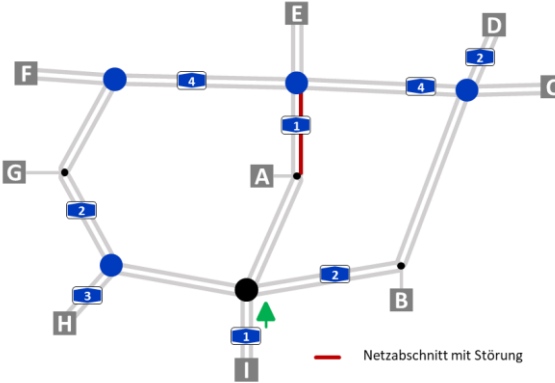
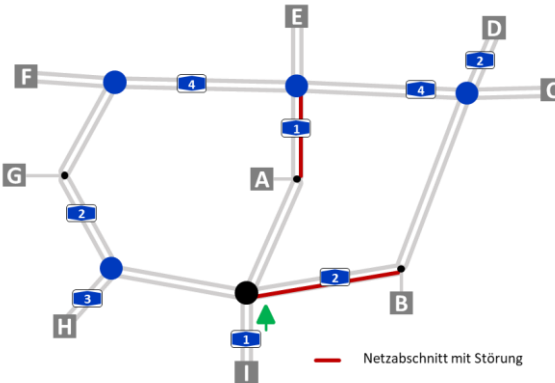
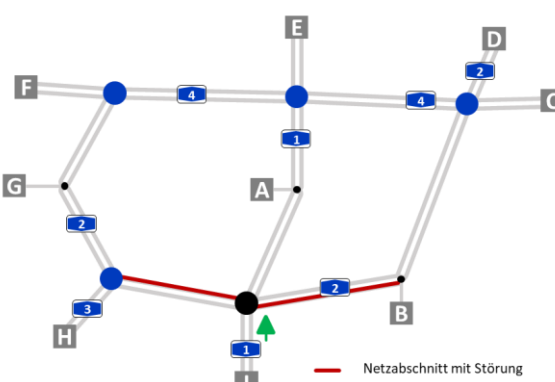
$$\text{Staulänge} \quad l_{Stau,d} \geq l_{Stau,d,min}(S)$$

und/oder

$$\text{Verlustzeit} \quad t_{V,d} \geq t_{V,d,min}(S)$$

Die dWiSta-Anzeigen haben ein Anzeigefeld für Informationen zur Strecke im weiteren Verlauf der Hauptfahrbahn (meist das linke der beiden Anzeigefelder) und eines für alle Autobahnabschnitte, die durch einen Autobahnwechsel an dem diesem Standort der dWiSta-Anzeige zugeordneten AK / AD erreicht werden können. Liegt eine Störung im Beeinflussungsbereich vor, so sollte diese (mit Informationen zu Störungslage und -umfang) angezeigt werden. Sollten im Beeinflussungsbereich des Informationsstandortes mehrere Störungen gleichzeitig vorhanden sein, welche die o.g. Schwellwerte überschreiten, so ist in Abhängigkeit der Lage der Störungen und den verfügbaren Anzeigemöglichkeiten festzulegen, welche Störungen angezeigt werden können:

- Sollten diese zwei Störungen auf Streckenabschnitten unterschiedlicher Autobahnen (je eine Störung auf der Normal- und Alternativroute) vorliegen, so sollten beide Störungen angezeigt werden.
- Befinden sich beide Störungen auf der gleichen Autobahn (bzw. die Anzeige beider Störungen ist nicht möglich), so ist die maßgebende Störung (mit höherer Priorisierung) anzuzeigen. Sofern beide Störungen die gleiche Priorisierung aufweisen, ist die dem Informationsstandort näheregelegene Störung anzuzeigen (siehe Tab. 6-1).

Beschreibung	Lage der Störung	Anzeige
<p>Eine Störung auf einem relevanten Streckenabschnitt</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Anzeige der Störung (mit Information zu Störungslage und -umfang) ist möglich. 	 <p style="text-align: right;">— Netzabschnitt mit Störung</p>	<p>Verlustzeit</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>▲ Stau +xx min Richtung E hinter A</p> </div> <p>↑ [1] ↗ [2]</p> <p>oder</p> <p>Staulänge</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>▲ Stau x km Richtung E hinter A</p> </div> <p>↑ [1] ↗ [2]</p>
<p>Zwei Störungen auf relevanten Streckenabschnitten auf unterschiedlichen Autobahnen</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Anzeige beider Störungen (jeweils mit Information zu Störungslage und -umfang) ist möglich. 	 <p style="text-align: right;">— Netzabschnitt mit Störung</p>	<p>Verlustzeit</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>▲ Stau +xx min Richtung E hinter A</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>▲ Stau +yy min Richtung B/D</p> </div> </div> <p>↑ [1] ↗ [2]</p> <p>oder</p> <p>Staulänge</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>▲ Stau x km Richtung E hinter A</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p>▲ Stau y km Richtung B/D</p> </div> </div> <p>↑ [1] ↗ [2]</p>
<p>Zwei Störungen auf relevanten Streckenabschnitten auf der gleichen Autobahn</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Anzeige beider Störungen ist nicht möglich. Es ist die maßgebende Störung (mit höherer Priorisierung) anzuzeigen. Sollten beide Störungen die gleiche Priorisierung aufweisen, so ist die dem Informationsstandort nähergelegene Störung (mit Information zu Störungslage und -umfang) anzuzeigen. 	 <p style="text-align: right;">— Netzabschnitt mit Störung</p>	<p>Verlustzeit</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%; background-color: black; color: white;"> <p>▲ Stau +yy min Richtung G/F</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%; background-color: black; color: white;"> <p>▲ Stau +yy min Richtung G/F</p> </div> </div> <p>↑ [1] ↗ [2]</p> <p>oder</p> <p>Staulänge</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%; background-color: black; color: white;"> <p>▲ Stau y km Richtung G/F</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%; background-color: black; color: white;"> <p>▲ Stau y km Richtung G/F</p> </div> </div> <p>↑ [1] ↗ [2]</p>

Tab. 6-1 Anzeige von Störungen im Netz

6.2.2 Strategie zur Anzeige von Alternativroutenempfehlungen

Aufbauend auf den Kriterien zur Weitergabe einer Störungsinformation müssen zur Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung zusätzliche Bedingung erfüllt sein, sodass sichergestellt wird, dass die Maßnahme vorteilhaft für die Verkehrsteilnehmenden ist. Es ist anzunehmen, dass für die Anzeige einer Alternativroutenempfehlung die Störung eine Mindestverlustzeit $t_{V,d,min}(A)$ aufweisen muss. Weiterhin sollte die aktuelle Fahrtzeit auf der Alternativroute $t_{F,AR}$ einen weiteren Fahrtzeitvorteil (Schwellwert $t_{S,NR/AR}$) gegenüber der aktuellen Fahrtzeit auf der Normalroute $t_{F,NR}$ (inklusive der durch die Störung hervorgerufenen Verlustzeit) aufweisen. Diese Schwellwerte sollten individuell in Abhängigkeit der Kombination der betrachteten Normal- und Alternativroute (ggf. auch tageszeitlich unterschiedlich) definiert werden. Sollten mehrere Alternativrouten zur Auswahl stehen, so ist diese Bedingung entsprechend für alle Routen zu prüfen.

Auslösebedingung Alternativroutenempfehlung:

Fahrtzeit auf Alternativroute mit ausreichendem Fahrtzeitvorteil gegenüber der gestörten Normalroute

$$t_{F AR} < t_{F NR} + t_{S NR/AR} \quad \text{mit } t_{F NR} = t_{F NR,0} + t_{V NR}$$

Im betrachteten Fall liegt eine Störung im Abschnitt 12 auf der Verbindung zu Fernzielen E und F vor (siehe Bild 6-3). Als mögliche Alternativrouten zum Fernziel E stehen die Routen „8-6-4“ und „18-16-14-1“ zur Auswahl. Für das Fernziel F kommen die Routen „12-10-2“, „8-6-4-2“ und „18-16-14“ in Frage. Die Steuerungsstrategie zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung für Route „8-6-4“ beinhaltet die im Folgenden aufgeführte regelbasierte Behandlung der aktuellen Fahrtzeiten inklusive der vorhandenen Verlustzeiten im Netz. Mit Hilfe folgender Bedingungen können auch mehrere Störungen im Netz in den Strategieentscheidungen berücksichtigt werden:

- | | | |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| wenn | $t_{V,12} \geq t_{V,12,min}(A)$ | Mindestverlustzeit durch die vorliegende Störung gegeben |
| und | $t_{F,(8-6-4)} < t_{F,(12-10)} + t_{S,(12-10/8-6-4)}$ | vorteilhafte Fahrtzeit der gewählten Alternativroute „8-6-4“ zu Fernziel E gegenüber der Normalroute „12-10“ |
| und | $t_{V,(8-6)} < t_{V,(8-6),min}(A)$ | Störungsfreiheit der gewählten Alternativroute „8-6-4“ bis zum nächsten Entscheidungspunkt |
| und | $t_{F,(8-6-4)} < t_{F,(18-16-14-1)}$ | Fahrtzeitvorteil der gewählten Alternativroute „8-6-4“ zu Fernziel E gegenüber der anderen Route „18-16-14-1“ |
| dann | Alternativroutenempfehlung | „Stau hinter ‚Entscheidungspunkt‘ Fernziel E über D“ |
| wenn zusätzlich | | |
| | $t_{V,18} < t_{V,18,min}(A)$ | Störungsfreiheit der anderen Route „18-16-14-1“ bis zum nächsten Entscheidungspunkt |
| und | $t_{F,(8-6-4-2)} < t_{F,(12-10-2)} + t_{S,(8-6-4-2/12-10-2)}$ | vorteilhafte Fahrtzeit der gewählten Alternativroute „2-5-9-10“ zu Fernziel F gegenüber der Normalroute „12-10-2“ |
| und | $t_{F,(8-6-4-2)} < t_{F,(18-16-14)}$ | Fahrtzeitvorteil der gewählten Alternativroute „8-6-4-2“ zu Fernziel F gegenüber der anderen Route „18-16-14“ |
| dann | Anzeige der Alternativroutenempfehlung | „Stau hinter ‚Entscheidungspunkt‘, Fernziele E und F über D“ |

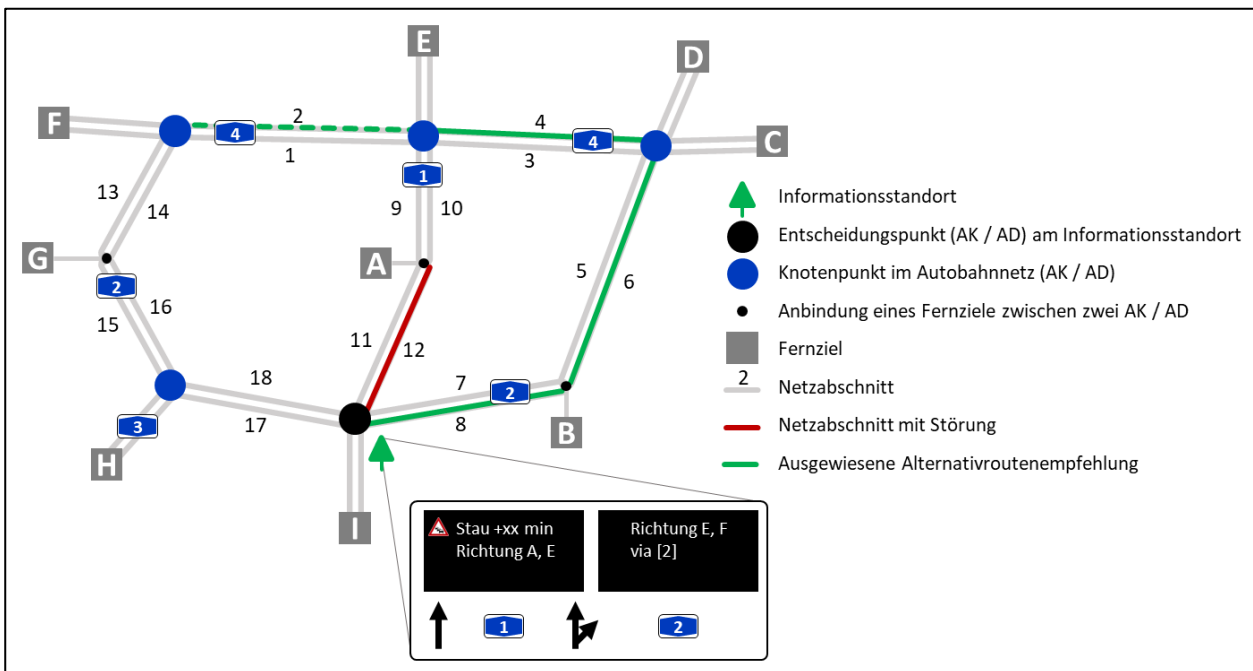


Bild 6-3 Beispiel zur Strategiedefinition einer Alternativroutenempfehlung für eine Störung

In komplexen Netzen ist zu erwarten, dass weitere Alternativrouten vorhanden sind. Diese können durch weitere Bedingungen berücksichtigt werden. Für die Versorgung eines entsprechenden Strategiekataloges für das zu berücksichtigende Autobahnnetz sind die Bedingungen für die vorhandenen Entscheidungspunkte und Routenkombinationen einmalig zu definieren, sodass diese im operativen Betrieb als Entscheidungsgrundlage genutzt werden können.

Durch eine zyklische Prüfung der o.g. Bedingungen ist gewährleistet, dass der aktuelle Verkehrszustand auf den einzelnen Streckenabschnitten (und damit auch die Veränderungen aufgrund einer bereits angezeigte Alternativroutenempfehlung) in der Steuerungsentscheidung berücksichtigt werden.

6.2.3 Überlagerung mehrerer Strategien

Für den Fall, dass mehrere Störungen im Netz vorliegen, ist davon auszugehen, dass verschiedene Strategien an unterschiedlichen Informationsstandorten auf diese Störungen reagieren. Dabei ist nicht ausgeschlossen, dass dabei von den unterschiedlichen Informationsstandorten auf Alternativrouten verwiesen werden soll, welche zumindest z. T. über die gleichen Streckenabschnitte verlaufen. In diesem Fall ist eine Prüfung der Störungscharakteristik vorzunehmen, um entscheiden zu können, ob, und wenn ja, welche der Alternativroutenempfehlungen zur Anzeige kommen sollen. Sofern für jede der vorliegenden Strategien die Auslösekriterien und Bedingungen (siehe Kapitel 6.2.2) erfüllt sind, so sollte eine Entscheidung, welche der Strategien zur Anzeige kommt, anhand folgender Kriterien getroffen werden:

- Prüfung der Störungsart
Die Alternativroutenempfehlung ist für die Störung mit der höheren Priorität anzuzeigen.
- Sollten beide Störungen die gleiche Priorität aufweisen, so ist die Alternativroutenempfehlung mit dem größeren Störungsumfang (Staulänge, Verlustzeit) anzuzeigen.

Als Beispiel hierfür dient die in Bild 6-4 dargestellte Situation. Auf den Abschnitten 5 und 15 zum Fernziel I liegen Störungen der gleichen Störungsart „Stau“ vor. An den Informationsstandorten a und b soll eine entsprechende Alternativroutenempfehlung angezeigt werden. Als mögliche Alternativroute zum Fernziel I kommt am Informationsstandort a die Route „1-9-11“ und am Informationsstandort b die Route „4-9-11“ in Frage.

Zur Entscheidung, welche Informationen an den jeweiligen Informationsstandorten angezeigt werden, ist folgende Bedingung zu prüfen:

wenn $t_{V,15} \geq t_{V,5}$

größere Verlustzeit durch Störung auf Abschnitt 15 gegenüber Störung auf Abschnitt 5

dann Anzeige der Alternativroutenempfehlung am Informationsstandort a
„Stau hinter G
Fernziel I über C“

Die regelmäßige Prüfung dieser Bedingung ermöglicht eine Reaktion auf den aktuellen Verkehrszustand auf den einzelnen Streckenabschnitten.

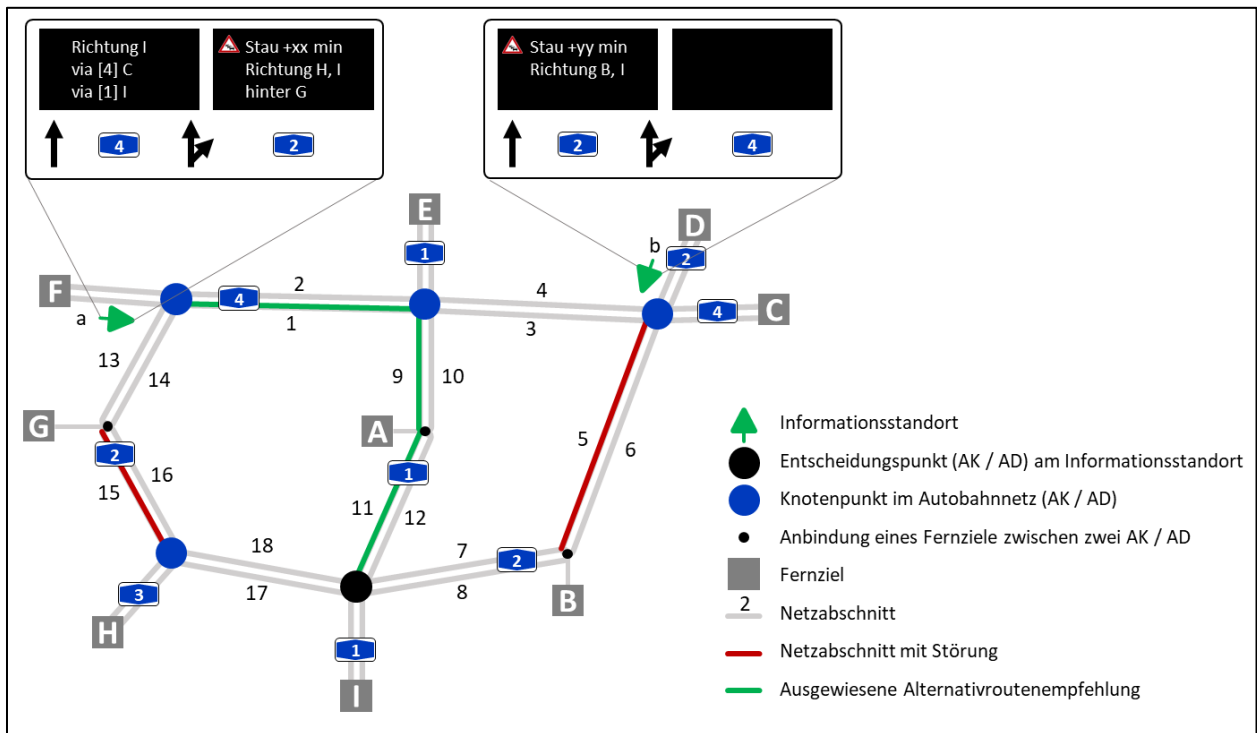


Bild 6-4 Beispiel einer Alternativroutenempfehlung für mehrere Strategien

7 Exemplarische Anwendung der Steuerungs- und Wirksamkeitsanalyseverfahren

In Kapitel 5.4 wird ein vereinfachtes Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse beschrieben, durch Erkenntnisse über die verkehrlichen Wirksamkeit von Netzbeeinflussungsanlagen ermittelt werden können. Kapitel 6.2 beinhaltet die Beschreibung der Verfahren zur Strategiedefinition für NBA. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein aufeinander abgestimmtes praxistaugliches Vorgehen zur Wirksamkeitsanalyse und zur Definition von Steuerungsstrategien zu entwickeln. Im Rahmen einer beispielhaften Praxisanwendung soll dargestellt werden, ob die im Verfahren beschriebenen Bearbeitungsschritte und notwendigen Daten geeignet sind und welcher Aufwand erforderlich ist, um Ergebnisse zu erzielen.

Zur Überprüfung der Praxistauglichkeit der beschriebenen Vorgehensweisen zur Wirksamkeitsanalyse von Netzbeeinflussungsmaßnahmen (Kapitel 5.4) sowie zur Entwicklung von Steuerungsstrategien in der Netzbeeinflussung (Kapitel 6.2) wurden Störungs- und Verkehrsdaten als Eingangsdaten für ein Testfeld im deutschen Autobahnnetz genutzt. Ziel der Praxisanwendung ist die Darstellung der Anwendbarkeit der Verfahrensvorschrift. Die Prüfung der Praxistauglichkeit des Strategieplanungsvorgehens wurde anhand eines exemplarischen Untersuchungszeitraumes von einem Monat sowie für die Betrachtung einzelner Netzmaschen innerhalb des Testfeldes durchgeführt. In die Prüfung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens wurde der Zeitraum einer Woche integriert. Das Wirksamkeitsanalyseverfahren sollte für einen Zeitraum von zwei Jahren angewendet werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes stand aber weniger der verfahrenskonforme Nachweis der Wirksamkeit einer ausgewählten dWiSta-Anzeige im Vordergrund, sondern die Prüfung der Praxistauglichkeit der Verfahrensvorschrift. Da die betrachteten dWiSta-Anzeigen auch Bestandteil weiterer Netzmaschen sind, wird keine Gesamtbewertung der jeweiligen dWiSta-Anzeige vorgenommen.

Die durchgeführte exemplarische Anwendung stellt darüber hinaus keine vollumfängliche Bewertung der Steuerungs- und Wirksamkeitsverfahren dar, da im Projektrahmen weder sämtliche Datengrundlagen final ermittelt werden konnten und auch keine umfassende Szenarienanalysen über längere Zeiträume erfolgen konnte. Die dafür erforderlichen Aufwände sollten in nachfolgenden Projekten ggf. begleitend zu Praxisanwendungen ermittelt werden.

7.1 Untersuchungsgebiet und vorliegende Daten

Für den Zeitraum 01.10.2019 – 31.10.2019 wurden für einen Teilausschnitt des Autobahnnetzes in NRW neben den charakteristischen Verkehrsbelastungen, Informationen über vorhandene Störungen sowie an den vorhandenen dWiSta-Anzeigen vorgenommenen Schaltungen auch FCD-Informationen zu vorhandenen Verlustzeiten im Autobahnnetz verwendet, um die beschriebenen Verfahren in einer Testanwendung umzusetzen.

7.1.1 Netzmaschen und Streckencharakteristik

Als Repräsentant für ein eng vermaschtes Autobahnnetz innerhalb eines Ballungsgebietes wurde ein Ausschnitt des Autobahnnetzes Nordrhein-Westfalen zwischen Oberhausen und Dortmund genutzt. Der Netzausschnitt umfasst die Autobahnen A2, A3, A40, A42, A43 und A45 (siehe Bild 7-1).

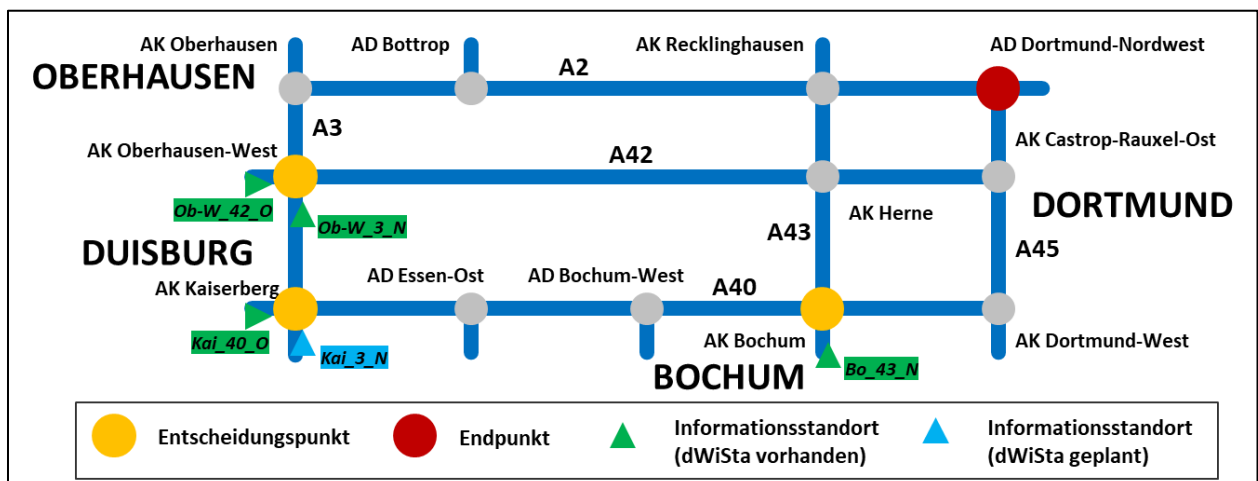


Bild 7-1 Lage von Entscheidungs- und Endpunkten betrachteter Netzmaschen zur Beispielanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens im Autobahnnetz NRW

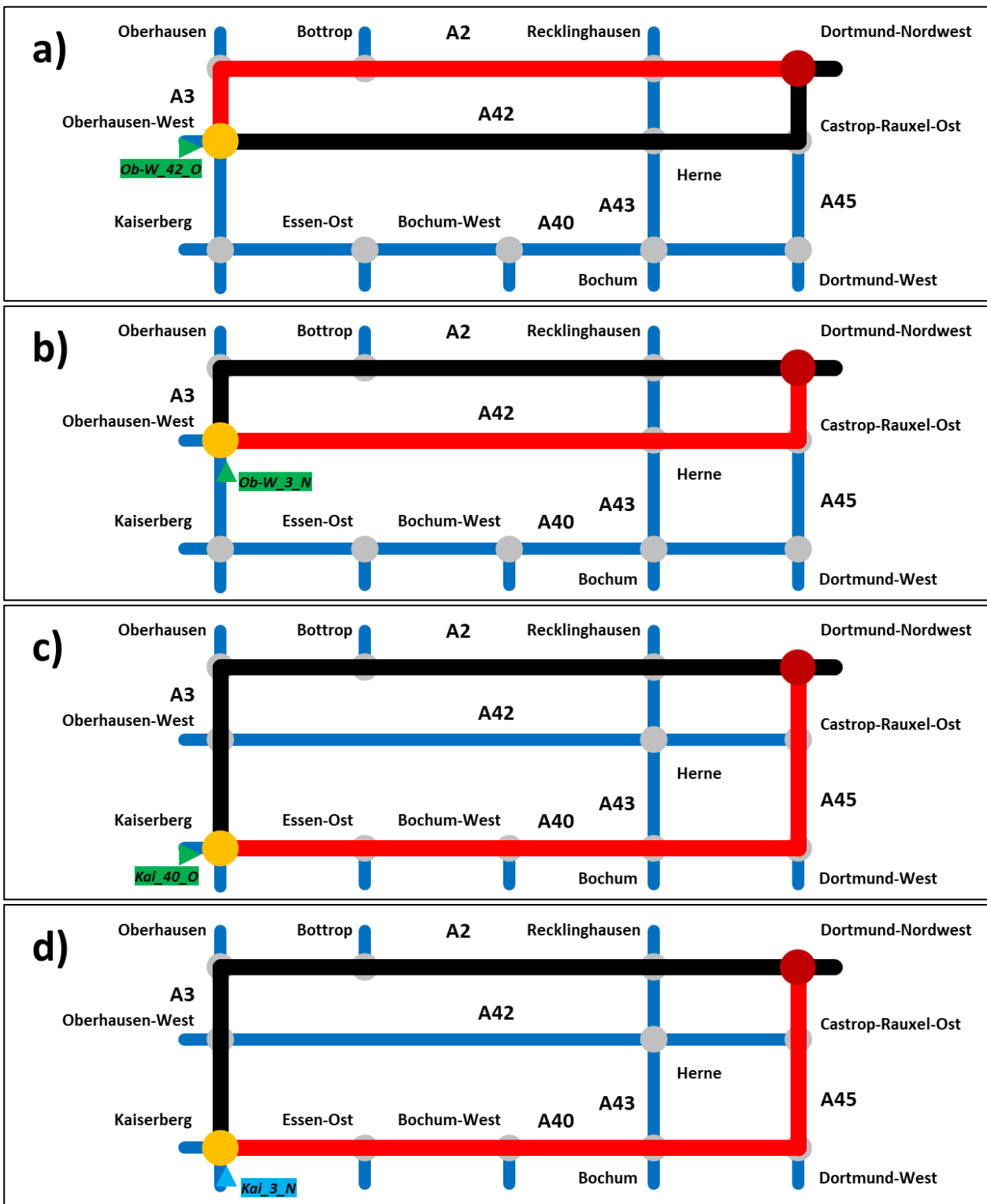
Im Rahmen der Praxisanwendung wurden jeweils nur die Verkehre in Fahrrichtung Nord bzw. Ost berücksichtigt. Im Bestand sind an folgenden AD / AK bereits NBA-Standorte (dWiSta-Anzeigen) vorhanden:

- AK Oberhausen-West auf der A42 in Fahrrichtung Ost (Ob-W_42_O) und auf der A3 in Fahrrichtung Nord (Ob-W_3_N)
- AK Kaiserberg auf der A40 in Fahrrichtung Ost (Kai_40_O)
- AK Bochum auf der A43 in Fahrrichtung Nord (Bo_43_N)

Zusätzlich wird ein weiterer geplanter Standort einer dWiSta-Anzeige am AK Kaiserberg auf der A3 in Fahrrichtung Norden („Kai_3_N“) berücksichtigt. Mit diesem Beispiel wird die Anwendung des Ex-Ante-Verfahrens des Wirksamkeitsanalyseverfahrens für einen neuen Standort einer dWiSta-Anzeige dargestellt.

Ausgehend von diesen Entscheidungspunkten wurden beispielhafte Netzmaschen bis zum Endpunkt AK Dortmund-Nordwest betrachtet:

- Netzmasche 1 (siehe Bild 7-2 a) beginnt am Entscheidungspunkt AK Oberhausen-West (A3/A42). Endpunkt stellt das AD Dortmund-Nordwest (A2/A45) dar. Der Informationsstandort befindet sich auf der A42 in Fahrrichtung Ost (entspricht dWiSta-Anzeige Ob-W_42_O im Bestand). Die Normalroute verläuft entsprechend der vorhandenen wegweisenden Beschilderung (Blaubeschilderung im Zeitraum der Störungsanalyse – Oktober 2019) über die A42 und A45; die Alternativroute über die A3 und A2.
- Netzmasche 2 (siehe Bild 7-2 b) beginnt identisch wie Netzmasche 1 am Entscheidungspunkt AK Oberhausen-West (A3/A42). Endpunkt stellt ebenfalls das AD Dortmund-Nordwest (A2/A45) dar. Der Informationsstandort befindet sich auf der A3 in Fahrrichtung Nord (entspricht dWiSta-Anzeige Ob-W_3_N im Bestand). Die Normalroute verläuft gemäß Blaubeschilderung über die A3 und A2; die Alternativroute über die A42 und A45.
- Netzmasche 3 (siehe Bild 7-2 c) beginnt am Entscheidungspunkt AK Kaiserberg (A3/A40) und endet am AD Dortmund-Nordwest (A2/A45). Der Informationsstandort befindet sich auf der A40 in Fahrrichtung Ost (entspricht dWiSta-Anzeige Kai_40_O im Bestand). Die Normalroute verläuft gemäß Blaubeschilderung über die A3 und A2; die Alternativroute über die A40 und A45.
- Netzmasche 4 (siehe Bild 7-2 d) ist identisch mit Netzmasche 3 und unterscheidet sich lediglich dahingehend, dass sich der Informationsstandort auf der A3 in Fahrrichtung Nord befindet (entspricht der derzeit im Bestand nicht vorhandenen, jedoch geplanten dWiSta-Anzeige Kai_3_N).
- Netzmasche 5 (siehe Bild 7-2 e) beginnt am Entscheidungspunkt AK Bochum und endet ebenfalls am AD Dortmund-Nordwest. Der zugehörige Informationsstandort befindet sich auf der A43 in Fahrrichtung Nord (entspricht dWiSta-Anzeige Bo_43_N im Bestand). Die Normalroute verläuft gemäß Blaubeschilderung über die A40 und A45; die Alternativroute über die A43 und A2.



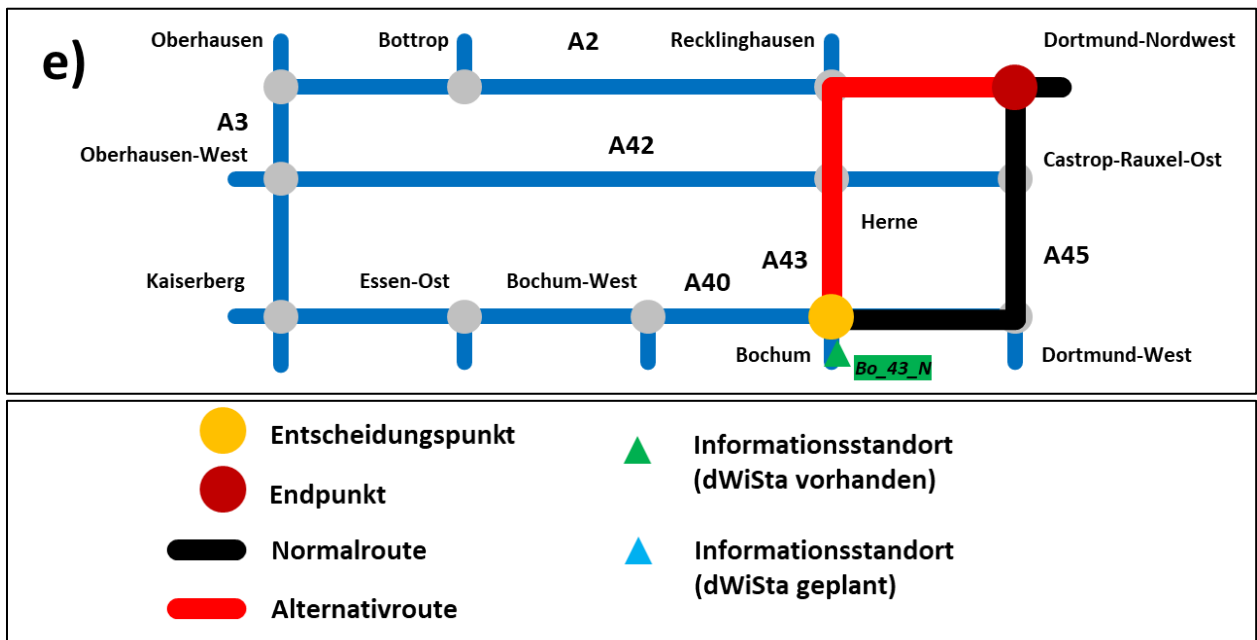


Bild 7-2 Netzmaschen zur Anwendung des Strategieplanungsvorgehens im Untersuchungsgebiet

Für das Autobahnnetz im Testfeld lagen für die einzelnen Streckenabschnitte richtungsbezogen folgende Detailinformationen vor:

- Abschnittsbezeichnung (Autobahn-Nummer, Fahrtrichtung, von-Anschlussstelle, bis-Anschlussstelle)
- Streckencharakteristik (Streckenlänge, Fahrstreifenanzahl, vorhandener Standstreifen, zulässige Höchstgeschwindigkeit)
- Verkehrscharakteristik (DTV, Typenganglinie der Verkehrsnachfrage Jahr, Woche, Montag, Werktag, Freitag, Samstag und Sonntag)

7.1.2 Verkehrs-, Störungs- und Schaltungsdaten

Für die Beispielanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens standen Verkehrsdaten (60 Minuten-Werte) der vorhandenen repräsentativen Messquerschnitte (MQ) für die einzelnen Streckenabschnitte und (soweit vorhanden) für die Verbindungsrampen an den AD / AK für den Untersuchungszeitraum 01.10.2019 – 31.10.2019 zur Verfügung. Die Verkehrsdaten wurden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft. Für einige der AD / AK ist im Bestand keine Verkehrsdetektion vorhanden bzw. lagen für den Untersuchungszeitraum keine Daten vor (Bild 7-3).

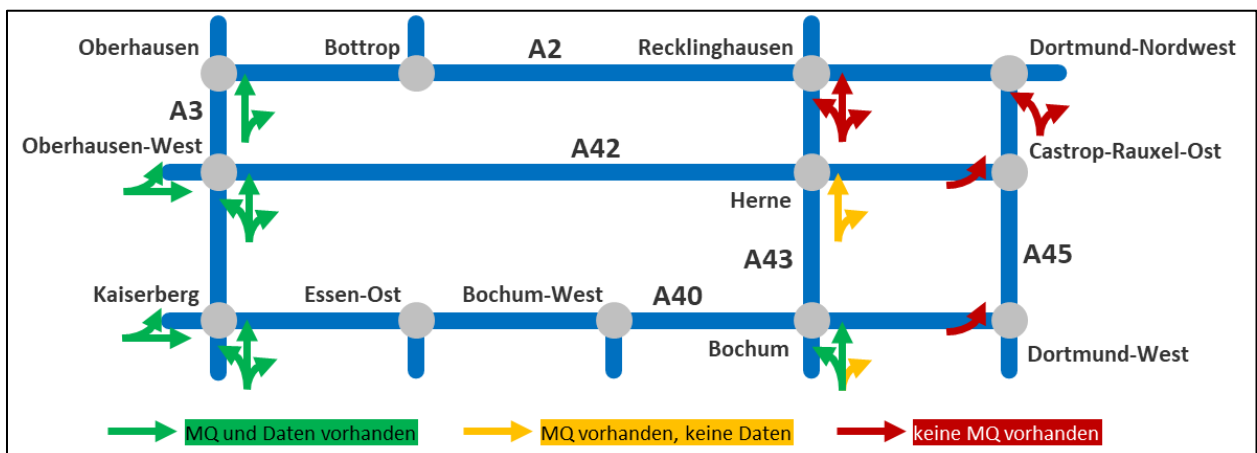


Bild 7-3 Verfügbarkeit der Rampen-Verkehrsstärken im Untersuchungszeitraum Oktober 2019 im Untersuchungsgebiet

Von der Landesmeldestelle NRW standen alle Verkehrsmeldungen für die betrachteten Autobahnen im Untersuchungszeitraum zur Verfügung. Aus dem Export wurden die Informationen zur Beschreibung der Störung (Ort und Umfang), der betroffenen Fahrtrichtung, der Uhrzeit bzw. Dauer der Störung herausgearbeitet. Durch eine Datenkennung sind mehrere Meldungen auch einer Störung zuzuordnen.

Für die in Bild 7-1 dargestellten bestehenden dWiSta-Anzeigen konnten die Schaltprotokolle der Verkehrszentrale verwendet werden, um Informationen über angezeigte Störungsinformationen bzw. Alternativroutenempfehlungen für eine Ex-Post-Analyse abzuleiten. Es ist darauf hinzuweisen, dass die tatsächlichen Schaltungen im Untersuchungszeitraum 2019 nach anderen Auslösekriterien erfolgten, als in Kapitel 6.2 beschrieben. Schaltungen wurden auf Basis vorhandener Informationen über die Staulängen der Störungen manuell durch die Mitarbeitenden in den Verkehrszentrale aktiviert und deaktiviert. Als Mindestvoraussetzung für die Aktivierung einer Schaltung zur Störungsinformation musste eine Störung eine Mindeststaulänge von 3 km aufweisen; für eine Alternativroutenempfehlung wurde zusätzlich der Verkehrszustand im betroffenen Netzbereich sowie das Erfahrungswissen der Mitarbeitenden der Verkehrszentrale herangezogen.

Zur Ermittlung der durch die Störungen im Autobahnnetz hervorgerufenen Verlustzeiten, welche als wesentliches Entscheidungskriterium im Wirksamkeitsanalyseverfahren erforderlich sind, wurden in der Beispielanwendung FCD der Firma TomTom genutzt. Diese wurden aus den archivierten hochaufgelösten Meldungen der durchschnittlichen Geschwindigkeiten und den daraus resultierenden Verlustzeiten exportiert. Die einzelnen Streckenabschnitte (Links) in den FCD-Informationen sind unabhängig von den Streckenabschnitten zwischen den einzelnen Anschlussstellen der Autobahnen. Änderungen der betroffenen Strecken in den FCD-Informationen müssen daher erst den zugehörigen Anschlussstellen zugeordnet werden. Die Änderungen der angegebenen Parameter im zeitlichen Verlauf einer Störung sind durch eine Wiederholung der Störungsmeldung mit zugehöriger ID mit neuem Zeitstempel und ggf. geänderten Werten erkennbar. Als Ende einer Störung wird der Zeitpunkt 5 Minuten nach der letzten Störungsmeldung zu dieser Störungs-ID angenommen. Als relevante Störungen für die Anwendung der Steuerungsstrategien wurden Störungen mit einer Verlustzeit von mindestens 5 Minuten angesehen. Störungsmeldungen mit einer Verlustzeit < 5 min wurden aus dem Datensatz herausgefiltert.

Zur Verwendbarkeit der FCD-Informationen war eine entsprechende Datenaufbereitung notwendig, sodass die in Tab. 7-1 aufgeführte Datenstruktur für die weiteren Schritte erzeugt wurde:

- Filterung der Meldungen hinsichtlich der betroffenen Autobahnen, da der Datensatz alle Störungen innerhalb eines definierten Begrenzungsrahmens (bounding box) enthält.
- Zuweisung der Streckenabschnitte (AD / AK und Anschlussstellen), da unterschiedliche Klartext-Bezeichnungen für einzelne Anschlussstellen verwendet wurden.
- Zusammenführung mehrerer Meldungen zur gleichen Störung, um sowohl die räumliche als auch die zeitliche Ausdehnung der Störung festzulegen.
- Filterung nach Störungen mit einer Mindestdauer von 15 Minuten.

Attribut	Beschreibung	Einheit
ID	Laufende Störungsnummerierung	-
Meldungsdatum und -uhrzeit	dd.mm.yyyy hh:mm	
Länge	Länge des gestörten Streckenabschnitts, für den eine Verlustzeit ermittelt wurde	km
Aktuelle Geschwindigkeit	current speed – zum Zeitpunkt der Meldung vorliegende Geschwindigkeit im betroffenen Streckenabschnitt	km/h
Freiflussgeschwindigkeit	free flow speed – Geschwindigkeit bei ungestörtem Verkehr in den Nachtstunden im betroffenen Streckenabschnitt	km/h
Übliche Geschwindigkeit	usual speed – durchschnittliche Geschwindigkeit für den von der Störung betroffenen Streckenabschnitt am gleichen Wochentag zur gleichen Zeit über einen längeren Zeitraum von ca. 2 Jahr-n	km/h
Absolute Verlustzeit	absolute delay – zusätzliche Fahrtzeit, um den von der Störung betroffenen Streckenabschnitt zu durchfahren, verglichen mit der Freiflussgeschwindigkeit	min
Außergewöhnliche Verlustzeit	unusual delay – zusätzliche Fahrtzeit, um den von der Störung betroffenen Streckenabschnitt zu durchfahren, verglichen mit der üblichen Geschwindigkeit	min
Lage der Störung	Verortung der Störung mit Autobahnnummer; von-Anschlussstelle und bis-Anschlussstelle	
Start- und Endzeitpunkt	Beginn und Ende der Störung (Berücksichtigung aller Meldungen zur gleichen Störung – Zuordnung betroffener 15 Minuten-Intervalle)	
Störungsdauer	Zeitliche Ausdehnung der Störung (15 Minuten-Intervalle)	min

Tab. 7-1 Datenstruktur der für die Beispielanwendung aufbereitete FCD-Informationen

Die Staumeldungen der Landesmeldestelle NRW und die FCD-Informationen wurden vergleichbar aufbereitet. Die Störungen wurden 15 Minuten-Intervallen und den jeweiligen Streckenabschnitten zwischen zwei Anschlussstellen zugeordnet. Informationen zu jeder betrachteten Autobahn wurden in einer separaten Datei aufbereitet.

Für die exemplarische Anwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens hier im Projekt sind die Informationen der Landesmeldestelle über die Dauer und die Länge einer Störung nicht ausreichend. Die grundlegend notwendigen Informationen zu den Verlustzeiten in der Störung sind in den Daten der Landesmeldestelle nicht enthalten. Im Untersuchungszeitraum standen für das betrachtete Autobahnnetz keine Fahrtzeitinformationen zur Verfügung. Aus diesem Grund wurden für die Ermittlung von Fahrt- und Verlustzeiten zusätzliche FCD-Informationen verwendet. Da die Autobahn GmbH des Bundes das Ziel verfolgt flächendeckend Fahrtzeitinformationen für Routen im deutschen Autobahnnetz bereitzustellen, kann davon ausgegangen werden, dass bei einer strukturierten Datenhaltung für die allgemeine Anwendung des Verfahrens in der Zukunft Fahrtzeit- und Verlustzeitinformationen für die einzelnen Netzmaschen zur Verfügung stehen. In der Testanwendung lagen aus den FCD nur Verlustzeiten, jedoch keine Informationen zu den Gesamtfahrtzeiten für die Normal- und Alternativroute der einzelnen Netzmaschen vor. Aus diesem Grund wurden diese im Rahmen der Beispielanwendung im Projekt ersatzweise aus der Routinginformation auf Basis eines routingfähigen Netzes (in diesem Fall aus Google Maps) nach folgendem Vorgehen ausgelesen:

- Für jeden Wochentag wurden für jedes 30 Minuten-Intervall Routenfahrtzeiten ermittelt. Hierfür wurde eine Woche (außerhalb der Ferien, ohne Feiertage) in der Zukunft ausgewählt und für Startzeiten im 30 Minuten-Abstand die prognostizierten Fahrtzeiten auf der Normal- und Alternativroute ausgelesen. Als Ergebnis konnten Routenfahrtzeiten mit Minimal- und Maximalwert für jedes 30 Minuten-Intervall ermittelt werden.
- Aus den Minimal- und Maximalwerten wurde der Mittelwert für jedes 30 Minuten-Intervall gebildet und als ungestörte Fahrtzeit für die weitere Betrachtung im Strategieplanungsvorgehen verwendet.
- In der exemplarischen Praxisanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens wurde der Minimalwert der prognostizierten Fahrtzeit als Pkw-Fahrtzeit; der Maximalwert als Lkw-Fahrtzeit für den ungestörten Zustand der jeweiligen Route verwendet.

Da im Rahmen des Forschungsprojektes aus den vorliegenden Daten der keine anderen Fahrtzeitinformationen für den ungestörten Zustand zur Verfügung standen, dienen die ermittelten Werte an dieser Stelle als Näherungswert. Durch die Verwendung der Fahrtzeitinformationen (in diesem Falle aus Google Maps) für eine Fahrt in der Zukunft wird gewährleistet, dass kein Zeitraum mit tatsächlich vorhandener Störung als Grundlage genutzt wird. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei der Bestimmung der Fahrtzeit auf

diese Weise nicht ausgeschlossen ist, dass aus der historischen Datenbasis neben störungsfreien Fahrten auch durch Störungen beeinflusste Fahrtzeiten berücksichtigt werden. Für eine tatsächliche Anwendung des Verfahrens zur Wirksamkeitsanalyse einer NBA sind hier die beim Betreiber der NBA vorliegenden Fahrtzeiten für den ungestörten Zustand der Normal- und Alternativroute aus der historischen Datenbasis zu verwenden.

Aus dem makroskopischen Verkehrsmodell der Bundesverkehrswegeplanung [NEMOBFSTR 2021] wurden für die relevanten Netzmaschen Netzspinnen der Verkehrsbelastung erstellt. Auf Basis des durchschnittlichen Verkehrs an Werktagen (DTV_{w6}) standen für jeden Streckenabschnitt der betrachteten Normal- und Alternativroute folgende Informationen zur Verfügung:

- Verkehrsbelastung der Richtungsfahrbahn (Kfz und SV)
- Verkehrsbelastung der diesen Streckenabschnitt befahrenden Einfahrende (Kfz und SV)

Eine Übersicht der aus den Netzspinnen abgeleiteten Verkehrsbelastungen der Netzmaschen sind in Anlage 3 enthalten. Für die Ermittlung der durchschnittlichen wochentäglichen Verkehre (für montags bis freitags, DTV_{w5}) und der durchschnittlichen Sonntagsverkehre (DTV_S) aus den DTV_{w6} -Werten wurden alle Dauerzählstellendaten (DAUZ) des deutschen Autobahnnetzes 2019 berücksichtigt. Aus den entsprechenden Verhältnissen DTV_{w5}/DTV_{w6} und DTV_S/DTV_{w6} wurden Verhältnisfaktoren ermittelt (siehe Tab. 7-2), die zur Umrechnung der Verkehrsmodellwerte für die Anwendung des Verfahrens für einzelne Wochentage genutzt wurden.

Verhältnisfaktor	Beschreibung	Mittelwert	Standardabweichung
$DTV_{w5}/DTV_{w6}(Kfz)$	Umrechnungsfaktor des Durchschnittlichen Täglichen Verkehrs an Werktagen (Montag – Samstag) für den Kfz-Verkehr aus dem Verkehrsmodell der Bundesverkehrswegeplanung [NEMOBFSTR 2021] auf den Durchschnittlichen Wochentäglichen Verkehr (Montag – Freitag) zur Anwendung im Wirksamkeitsanalyseverfahren	1,0287	0,0156
$DTV_{w5}/DTV_{w6}(SV)$	Umrechnungsfaktor des Durchschnittlichen Täglichen Verkehrs an Werktagen (Montag – Samstag) für den Schwerverkehr aus dem Verkehrsmodell der Bundesverkehrswegeplanung [NEMOBFSTR 2021] auf den Durchschnittlichen Wochentäglichen Verkehr (Montag – Freitag) zur Anwendung im Wirksamkeitsanalyseverfahren	1,1099	0,0178
$DTV_S/DTV_{w6}(Kfz)$	Umrechnungsfaktor des Durchschnittlichen Täglichen Verkehrs an Werktagen (Montag – Samstag) für den Kfz-Verkehr aus dem Verkehrsmodell der Bundesverkehrswegeplanung [NEMOBFSTR 2021] auf den Durchschnittlichen Sonntags-/Feiertagsverkehr zur Anwendung im Wirksamkeitsanalyseverfahren	0,8096	0,1643
$DTV_S/DTV_{w6}(SV)$	Umrechnungsfaktor des Durchschnittlichen Täglichen Verkehrs an Werktagen (Montag – Samstag) für den Schwerverkehr aus dem Verkehrsmodell der Bundesverkehrswegeplanung [NEMOBFSTR 2021] auf den Durchschnittlichen Sonntags-/Feiertagsverkehr zur Anwendung im Wirksamkeitsanalyseverfahren	0,1430	0,0442

Tab. 7-2 Verhältnisfaktoren zur Umrechnung der DTV-Verkehrsmodellwerte für die Anwendung Wirksamkeitsanalyseverfahrens für einzelne Wochentage (auf Basis der DTV-Werte aller Dauerzählstellen auf Bundesautobahnen im Jahr 2019)

7.1.3 Störungscharakteristik im Untersuchungszeitraum

Für alle Routen (Normal- und Alternativroute) in diesen fünf Netzmaschen wurde für den Untersuchungszeitraum für jedes 15 Minuten-Intervall bestimmt, ob eine relevante Störungsmeldung vorliegt und welche Verlustzeit durch diese Störungen verursacht werden. Dabei wurden nur Störungen berücksichtigt, die im aktuellen oder einem vorherigen 15 Minuten-Intervall eine Verlustzeit von mindestens 10 min aufweisen.

In Bild 7-4 ist die Verteilung der Störungen auf die einzelnen Streckenabschnitte innerhalb des betrachteten Untersuchungsgebietes dargestellt. Es zeigt sich, dass Störungen vor allem auf folgenden Streckenabschnitten auftreten:

- A3 im kompletten betrachteten Abschnitt zwischen AK Kaiserberg und AK Oberhausen
- A40 zwischen AS Mühlheim-Heißen und AS Essen-Huttrop sowie im Bereich des AD Bochum-West (zwischen AS Bochum-Dückerweg und AS Bochum-Hamme)

- A43 zwischen AK Bochum und AK Herne

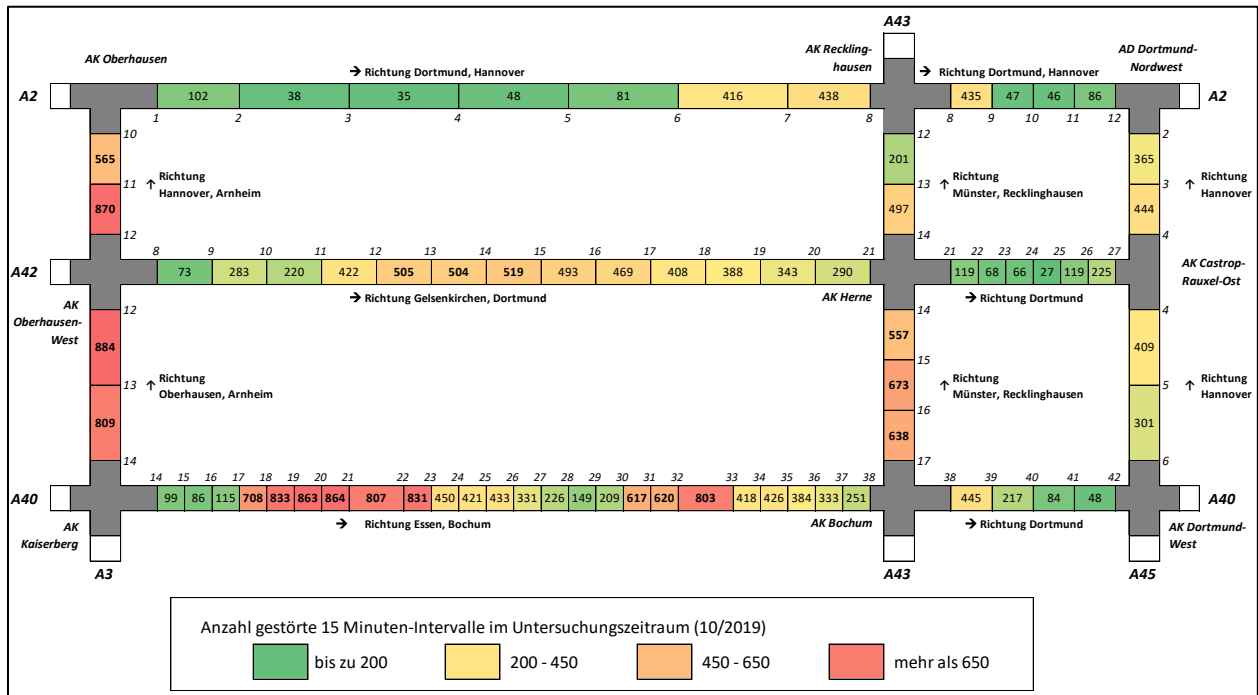


Bild 7-4 Anzahl relevanter gestörter 15 Minuten-Intervalle im Untersuchungszeitraum Oktober 2019 in betrachteter Fahrtrichtung im Untersuchungsgebiet (Zahlenwerte in den einzelnen Boxen entsprechen der Anzahl der gestörten 15 Minuten-Intervalle im jeweiligen Streckenabschnitt der betrachteten Fahrtrichtung; kursive Zahlen bezeichnen die Nummern der Anschlussstellen)

Bezogen auf die betrachteten Netzmaschen (gemäß Bild 7-2) ergeben sich die in Bild 7-5 dargestellten Gesamtstörungsdauern der jeweiligen Normal- und Alternativrouten. Es ist erkennbar, dass in den Netzmaschen 1, 2 und 5 Störungen im ähnlichem Umfang auf Normal- und Alternativroute vorliegen. In Netzmasche 3 und 4 ist ersichtlich, dass die Alternativroute wesentlich häufiger von Störungen betroffen ist.

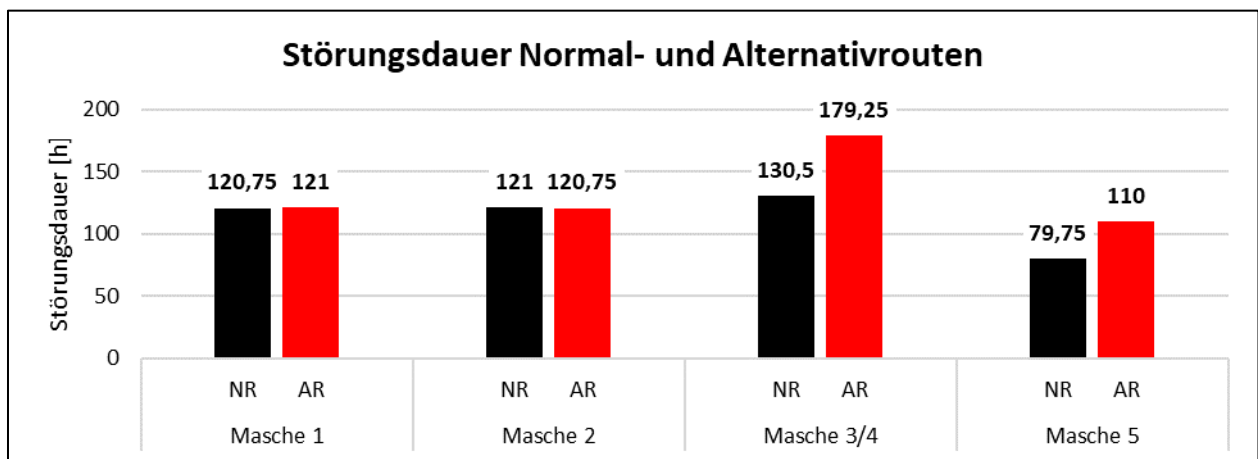


Bild 7-5 Gesamtstörungsdauer [h] auf den Normal- und Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019

Die Verteilung der Störung auf den Normal- und Alternativrouten auf die verschiedenen Wochentage ist in Bild 7-6 und Bild 7-7 dargestellt. Es zeigen sich keine grundsätzlichen Unterschiede bei der Störungsverteilung auf Wochentage. Der wesentliche Anteil der Störungen tritt an Werktagen (Mo – Fr) auf, jeweils in ähnlichen Häufigkeiten. Lediglich auf den Normalrouten der Netzmaschen 1 und 5 sind montags geringere Störungsumfänge festzustellen. Zwischen 5 % und 10 % der Störungen treten am Wochenende auf.

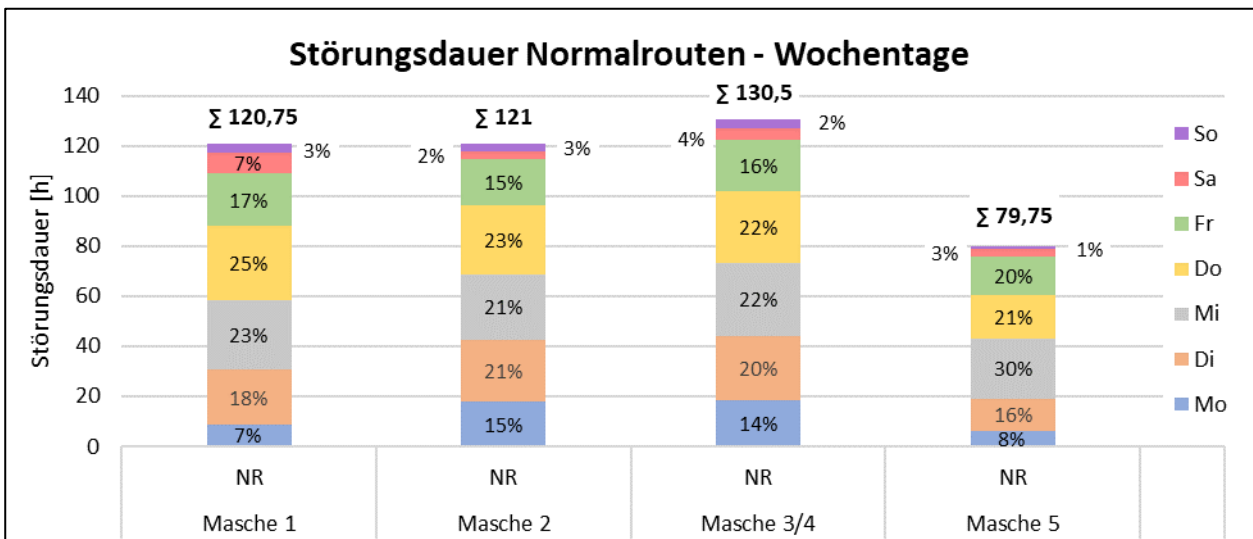


Bild 7-6 Verteilung der Störungsdauer [h] je Wochentag auf den Normalrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019

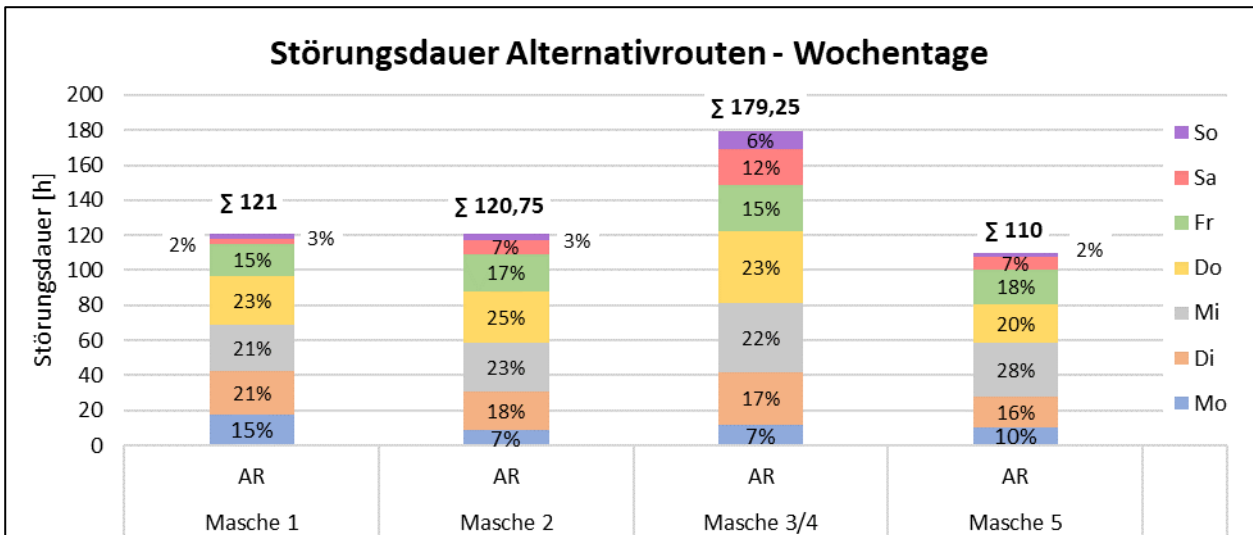


Bild 7-7 Verteilung der Störungsdauer [h] je Wochentag auf den Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019

In Bild 7-8 und Bild 7-10 ist die Verteilung der Störungen auf den Normal- und Alternativrouten auf verschiedenen Tagesbereiche dargestellt. Auch hier zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede in der Verteilung zwischen den einzelnen Netzmaschen. Nur 7 bis 8 % der Störungen ereignen sich in den Nachtstunden zwischen 20 Uhr und 6 Uhr.

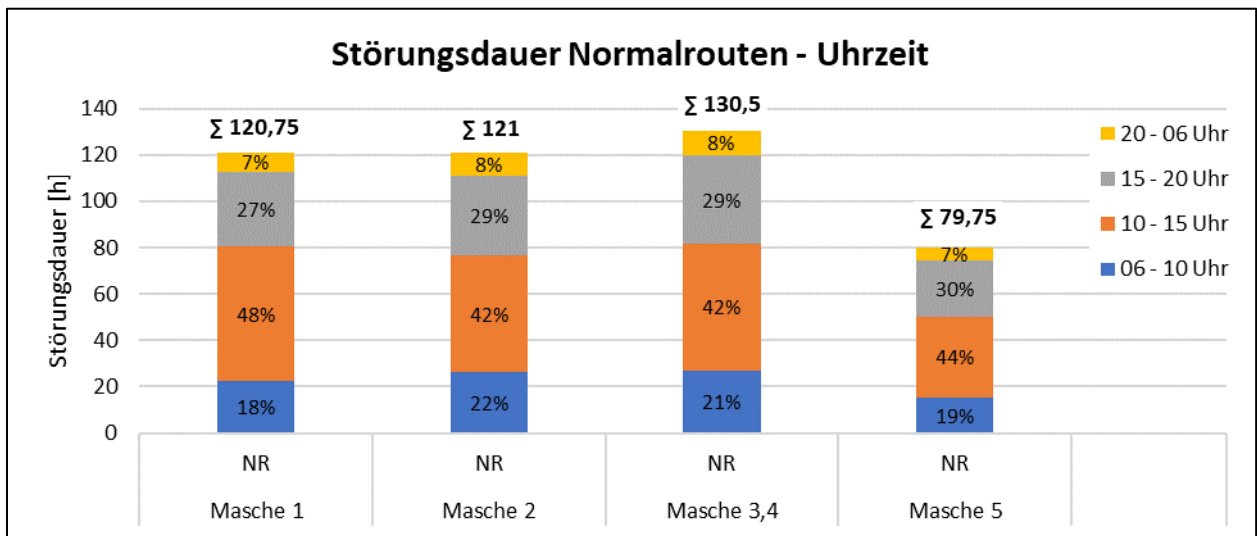


Bild 7-8 Verteilung der Störungsdauer [h] je Tageszeit auf den Normalrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019

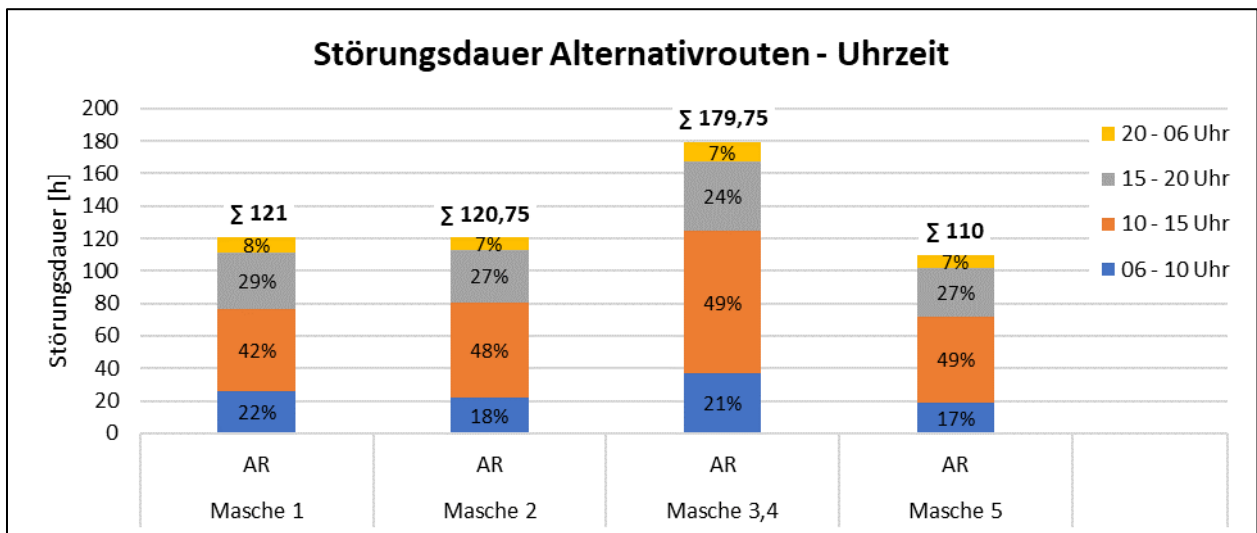


Bild 7-9 Verteilung der Störungsdauer [h] je Tageszeit auf den Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019

Im Zusammenhang mit der Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung ist die zeitliche Lage von Störungen auf Normal- und Alternativroute entscheidend. Die Überlagerung der Störungen auf den beiden Routen der einzelnen Netzmaschen ist in Bild 7-10 aufgeführt. In einem überwiegenden Anteil der 15 Minuten-Intervalle im Untersuchungszeitraum (netzmaschenabhängig zwischen 71 % und 87 %) wurden keine Störungen festgestellt. In 2 % bis 7 % der 15 Minuten-Intervalle lagen in den Netzmaschen im Untersuchungszeitraum auf der Normalroute relevante Störungen (mit Mindestverlustzeit von 10 min und einer Mindeststörfalldauer von 15 min) vor. In den Netzmaschen 1, 2, 3 und 4 zeigt sich, dass die Möglichkeit zur Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung nur in einem begrenzten Umfang gegeben ist, da nur in einem Drittel dieser 15 Minuten-Intervalle eine störungsfreie Alternativroute vorliegt. Nur in Netzmasche 5 wäre eine Alternativroutenempfehlung in 90 % der 15 Minuten-Intervalle mit relevanter Störung auf der Normalroute möglich.

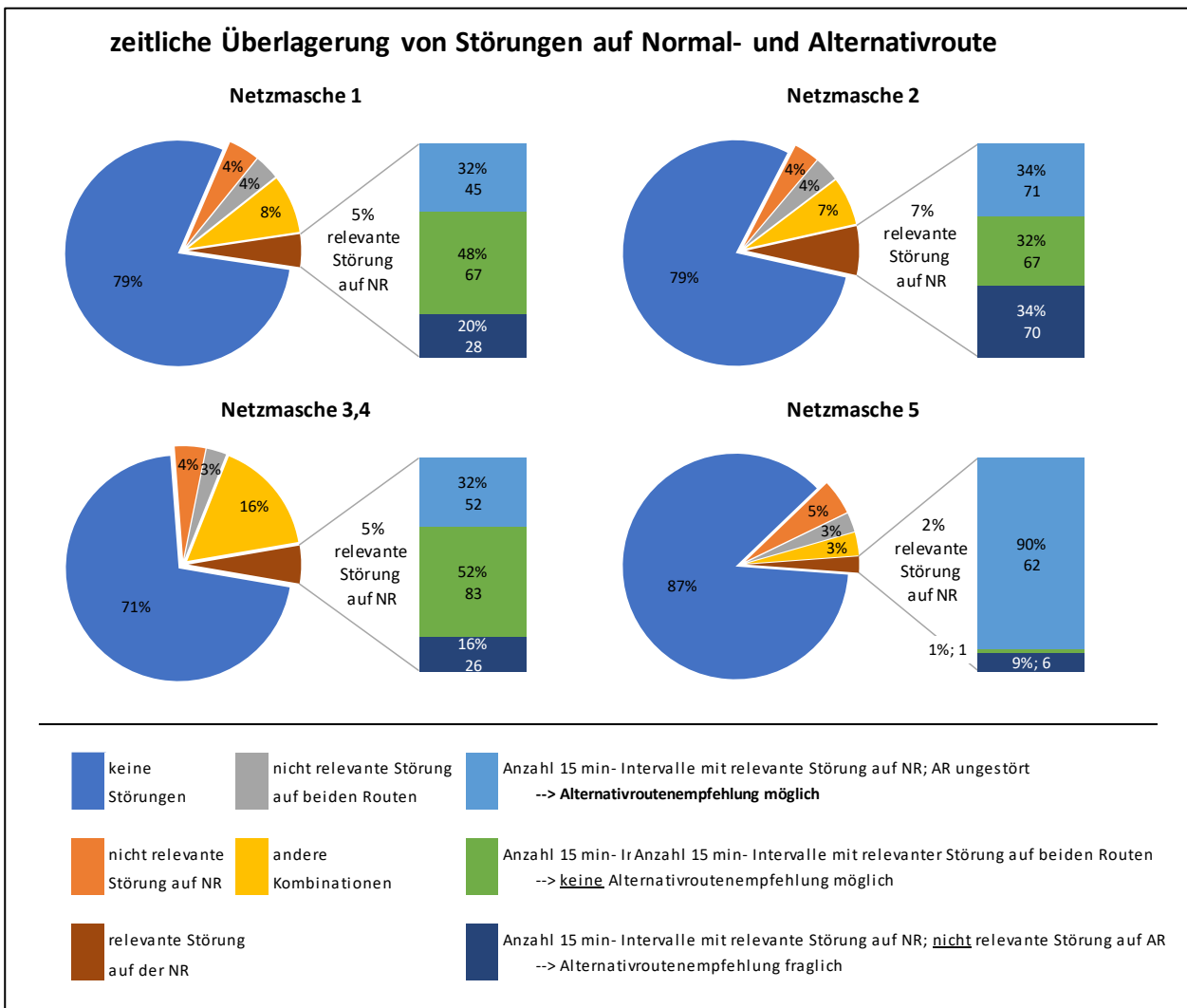


Bild 7-10 Verteilung der zeitlichen Überlagerung von Störungen auf den Normal- und Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019

7.2 Praxisanwendung Strategieplanungsvorgehen

Das in Kapitel 6.2 beschriebene Vorgehen zur Strategieplanung für die Netzbeeinflussung berücksichtigt eine identische Herangehensweise wie das Vorgehen zur Analyse der Wirksamkeit. Grundlage für die Beispielanwendung des Strategieplanungsvorgehens stellen die Fahrzeiten im ungestörten Zustand (in diesem Beispiel aufgrund fehlender Daten aus einem routingfähigen Netz ermittelt) sowie die Verlustzeiten aus den für diese Anwendung vorliegenden FCD-Informationen. Für die Überprüfung der Anwendbarkeit des Vorgehens wurden die in Bild 7-2 dargestellten 5 Netzmaschen im Untersuchungsgebiet betrachtet.

Gemäß des Vorgehens zur Planung von Steuerungsstrategien werden für die Anzeige einer Störungsinformation prinzipiell alle Störungen berücksichtigt, die Streckenabschnitte der Normalrouten betreffen. Für die einheitliche Betrachtung von Steuerungsstrategie und Wirksamkeitsanalyse werden die Anforderungen zur Mindestdauer einer Störung und der Mindestverlustzeit der Störung identisch festgelegt:

- Mindestdauer der Störung ($minSTD$): ≥ 15 min
- Mindestverlustzeit für eine Störungsinformation ($t_{v,d,min}(S)$ bzw. $minTVST_1$) ≥ 1 min
- Mindestverlustzeit für eine Alternativroutenempfehlung ($t_{v,d,min}(A)$ bzw. $minTVST_2$) ≥ 10 min

Für Störungen, die sich nicht vollständig innerhalb der betrachteten Route befinden (z. B. eine Störung, welche sich auf der A2 auch auf Streckenabschnitte östlich AD Dortmund-Nordwest bezieht) ist auf Basis der für die Praxisanwendung vorliegenden Daten keine eindeutige Zuordnung möglich, welcher Anteil der angegebenen Verlustzeit auf den Abschnitt innerhalb der betrachteten Route entfällt. Aus diesem Grund wurden diese Störungen bei der Prüfung der Möglichkeit einer Alternativroutenempfehlung nicht berücksichtigt.

In Tab. 7-3 ist für die einzelnen Netzmaschen dargestellt, in wie vielen 15 Minuten-Intervallen Störungsmeldungen im exemplarisch betrachteten Zeitraum (01.10.2019 – 31.10.2019 → insgesamt 2.976 15 Minuten-Intervalle) auf Grundlage der FCD-Informationen vorlagen.

Netzmasche 1	Störungscharakteristik	Normalroute (A3 → A2)	Alternativroute (A42 → A45)
	mit Störungsmeldung		483
davon räumlich teilweise über die Route hinausgehend		56	164
davon räumlich vollständig auf der Route		427	320
davon mit Verlustzeit ≥ 10 min und räumlich vollständig auf Route		171	102
Netzmasche 2	Störungscharakteristik	Normalroute (A42 → A45)	Alternativroute (A3 → A2)
	mit Störungsmeldung		484
davon räumlich teilweise über die Route hinausgehend		164	56
davon räumlich vollständig auf der Route		320	427
davon mit Verlustzeit ≥ 10 min und räumlich vollständig auf Route		102	171
Netzmasche 3/4	Störungscharakteristik	Normalroute (A3 → A2)	Alternativroute (A40 → A45)
	mit Störungsmeldung		522
davon räumlich teilweise über die Route hinausgehend		180	80
davon räumlich vollständig auf der Route		342	637
davon mit Verlustzeit ≥ 10 min und räumlich vollständig auf Route		121	407
Netzmasche 5	Störungscharakteristik	Normalroute (A40 → A45)	Alternativroute (A43 → A2)
	mit Störungsmeldung		319
davon räumlich teilweise über die Route hinausgehend		105	330
davon räumlich vollständig auf der Route		214	110
davon mit Verlustzeit ≥ 10 min und räumlich vollständig auf Route		62	8

Tab. 7-3 Anzahl gestörter 15 Minuten-Intervalle in den Netzmaschen 1 bis 5 (aus FCD-Informationen)

Für die relevanten 15 Minuten-Intervalle mit Störungen auf den Normalrouten (Werte fett hervorgehoben in Tab. 7-3) wird in der Folge geprüft, ob die Ausweisung einer Alternativroute möglich ist.

Um eine Entscheidung treffen zu können, wann an den Informationsstandorten eine Alternativroutenempfehlung angezeigt werden sollte, sind zusätzlich Daten zur Fahrzeit auf den einzelnen Routen notwendig. Da im Rahmen des Forschungsprojektes lediglich Verlustzeiten, jedoch keine Fahrzeitinformationen für die Normal- und Alternativroute zur Verfügung standen, wurden zur Darstellung der prinzipiellen Vorgehensweise im Rahmen der Beispielanwendung die mit Hilfe eines routingfähigen Netzes ersatzweise (in diesem Fall Google Maps) gewonnenen Informationen für die einzelnen 30 Minuten-Intervalle einer Woche verwendet (siehe Kapitel 7.1.2). Aus den Minimal- und Maximalwerten der zu erwartenden Fahrzeit aus dem Routing wurde der Mittelwert für jedes 30 Minuten-Intervall gebildet und als unbeeinflusste Fahrzeit für die weitere Betrachtung angenommen.

Durch die Nutzung dieses Ersatzvorgehens ergeben sich relativ große Bandbreiten zwischen den minimalen und maximalen zu erwartenden Fahrzeiten. Bei einer verfahrenskonformen Ermittlung der Fahrzeiten

(auf Grundlage vorliegender historischer Daten) entsteht diese Unschärfe nicht, da nur Fahrtzeiten der Normal- und Alternativroute im ungestörten Zustand einfließen.

Ausgehend von aus FCD-Informationen ersatzweise abgeleiteten Verlustzeiten und unter Verwendung des Ersatzvorgehens zur Bestimmung der Fahrtzeiten im ungestörten Zustand auf Normal- und Alternativrouten wurden die relevanten Fahrtzeiten im gestörten Zustand auf den einzelnen Routen für jedes 30 Minuten-Intervall ermittelt. Bei verfahrenskonformer Umsetzung liegen Fahrtzeiten im gestörten und ungestörten Zustand auf Basis der gleichen Datengrundlage vor.

Anhand der in Kapitel 6.2 beschriebenen Vorgehensweise zur Strategieplanung wurde für jede Route innerhalb der einzelnen Netzmaschen geprüft, ob eine Störungsinformation bzw. eine Alternativroutenempfehlung angezeigt werden kann. Berücksichtigt wurde dabei, ob die jeweilige Alternativroute störungsfrei war. Auf eine Prüfung der ausreichenden Restkapazität wurde an dieser Stelle verzichtet. Die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung wird nur dann vorgesehen, wenn für die Alternativroute ein Mindestzeitvorteil $minVT_k$ von mindestens 10 min gegenüber der Nutzung der gestörten Normalroute im jeweiligen 15 Minuten-Intervall vorliegt. Die in den folgenden Tabellen aufgeführten Verteilungen der Anzeigehalte auf 15 Minuten-Intervalle (Störungsinformation Alternativroutenempfehlung) stellt die verfahrenskonforme Reaktion der Steuerungsstrategie auf die Charakteristik der Störungen in einzelnen Zeitintervallen der jeweiligen Netzmasche dar.

In Netzmasche 1 wurden 483 15 Minuten-Intervalle (= 120,75 h) identifiziert, für die eine Störungsinformation auf der Normalroute angezeigt worden wäre. 427 der 15 Minuten-Intervalle (= 106,75 h) betreffen Störungen, die sich räumlich komplett auf der Normalroute „A42 → AK Castrop-Rauxel-Ost → A45“ befinden. Im Einzelnen wären dafür die in Tab. 7-4 aufgeführten Informationen angezeigt worden:

Anzeigehalt	Anzahl 15 Minuten-Intervalle	Zeitdauer [h]	Anteil aller Intervalle mit relevanter Störung
Störungsinformation	483	120,75	
Störung räumlich teilweise über die Normalroute hinausgehend	56	14,00	
relevante Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	427	106,75	100 %
Störungsinformation zu relevanten Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	377	94,25	88 %
aufgrund der Bedingung: Verlustzeit < 10 min	219	54,75	51 %
aufgrund der Bedingung: weitere Störung auf der Alternativroute A3 → A2 vorhanden	137	34,25	32 %
aufgrund der Bedingung: auf Alternativroute Zeitvorteil < 10 min	21	5,25	5 %
Störungsinformation mit Alternativroutenempfehlung über A3 → A2 (mit Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute >10 min)	50	12,5	12 %

Tab. 7-4 Anzeigehalte am Informationsstandort „Ob-W_42_O“ in Netzmasche 1

In Netzmasche 2 wurden 484 15 Minuten-Intervalle (= 121 h) identifiziert, für die eine Störungsinformation auf der Normalroute angezeigt worden wäre. 320 der 15 Minuten-Intervalle (= 80 h) betreffen Störungen, die sich räumlich komplett auf der Normalroute „A3 → AK Oberhausen → A2“ befinden. Im Einzelnen wären die in Tab. 7-5 aufgeführten Informationen angezeigt worden:

Anzeigehalt	Anzahl 15 Minuten-Intervalle	Zeitdauer [h]	Anteil aller Intervalle mit relevanter Störung
Störungsinformation	484	121,00	
Störung räumlich teilweise über die Normalroute hinausgehend	164	41,00	
relevante Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	320	80,00	100 %
Störungsinformation zu relevanten Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	290	72,50	91 %
aufgrund der Bedingung: Verlustzeit < 10 min	180	45,00	56 %
aufgrund der Bedingung: weitere Störung auf der Alternativroute A42 → A45 vorhanden	95	23,75	30 %
aufgrund der Bedingung: auf Alternativroute Zeitvorteil < 10 min	15	3,75	5 %
Störungsinformation mit Alternativroutenempfehlung über A42 → A45 (mit Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute >10 min)	30	7,50	9 %

Tab. 7-5 Anzeigehalte am Informationsstandort „Ob-W_3_N“ in Netzmasche 2

In Netzmasche 3 und 4 wurden 522 15 Minuten-Intervalle (= 130,5 h) identifiziert, für die eine Störungsinformation auf der Normalroute angezeigt worden wäre. 342 der 15 Minuten-Intervalle (= 85,5 h) betreffen Störungen, die sich räumlich komplett auf der Normalroute „A3 → AK Oberhausen → A2“ befinden. Im Einzelnen wären die in Tab. 7-6 aufgeführten Informationen angezeigt worden:

Anzeigehalt	Anzahl 15 Minuten-Intervalle	Zeitdauer [h]	Anteil aller Intervalle mit relevanter Störung
Störungsinformation	522	130,50	
Störung räumlich teilweise über die Normalroute hinausgehend	180	45,00	
relevante Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	342	85,50	100 %
Störungsinformation zu relevanten Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	319	79,75	93 %
aufgrund der Bedingung: Verlustzeit < 10 min	181	45,25	53 %
aufgrund der Bedingung: weitere Störung auf der Alternativroute A40 → A45 vorhanden	109	27,25	32 %
aufgrund der Bedingung: auf Alternativroute Zeitvorteil < 10 min	29	7,25	8 %
Störungsinformation mit Alternativroutenempfehlung über A40 → A45 (mit Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute >10 min)	23	5,75	7 %

Tab. 7-6 Anzeigehalte an den Informationsstandorten „Kai_40_O“ und „Kai_3_N“ in Netzmasche 3 bzw. 4

In Netzmasche 5 wurden 319 15 Minuten-Intervalle (= 79,75 h) identifiziert, für die eine Störungsinformation auf der Normalroute angezeigt worden wäre. 214 der 15 Minuten-Intervalle (= 53,5 h) betreffen Störungen, die sich räumlich komplett auf der Normalroute „A40 → AK Dortmund-West → A45“ befinden. Im Einzelnen wären die in Tab. 7-7 aufgeführten Informationen angezeigt worden:

Anzeigehalt	Anzahl 15 Minuten-Intervalle	Zeitdauer [h]	Anteil aller Intervalle mit relevanter Störung
Störungsinformation	319	79,75	
Störung räumlich teilweise über die Normalroute hinausgehend	105	26,25	
relevante Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	214	53,50	100 %
Störungsinformation zu relevanten Störungen (räumlich komplett auf der Normalroute)	182	45,50	85 %
aufgrund der Bedingung: Verlustzeit < 10 min	145	36,25	68 %
aufgrund der Bedingung: weitere Störung auf der Alternativroute A43 → A2 vorhanden	7	1,75	3 %
aufgrund der Bedingung: auf Alternativroute Zeitvorteil < 10 min	30	7,5	14 %
Störungsinformation mit Alternativroutenempfehlung über A43 → A2 (mit Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute >10 min)	32	8,0	15 %

Tab. 7-7 Anzeigehalte am Informationsstandort „Bo_43_N“ in Netzmasche 5

Die Betrachtung der einzelnen Netzmaschen zeigt, unter der Berücksichtigung eines Mindestzeitvorteils der Alternativroute $\min VT_k = 10 \text{ min}$, dass eine Alternativroutenempfehlung (netzmaschenabhängig) in 7 % bis 15 % der 15 Minuten-Intervalle relevanter Störungen möglich wäre. Eine Anpassung dieser Anforderung des Mindestzeitvorteils auf $\min VT_k = 5 \text{ min}$ führt dazu, dass 14 % bis 24 % der 15 Minuten-Intervalle eine Alternativroutenempfehlung erfolgen könnte; bei $\min VT_k = 15 \text{ min}$ ist dies lediglich in 3 % bis 9 % der 15 Minuten-Intervalle der Fall.

Die erzielten Ergebnisse stellen dar, wie die NBA auf Basis des Verfahrens agiert hätte. Ein Vergleich mit den tatsächlichen Schaltungen der dWiSta-Anzeigen an den vorhandenen Standorten („Ob-W_42_O“ in Netzmasche 1, „Ob-W_3_N“ in Netzmasche 2, „Kai_40_O“ in Netzmasche 3 und „Bo_43_N“ in Netzmasche 5) ist für die Beispielanwendung nicht aussagekräftig, da sich die im Untersuchungszeitraum im Betrieb angewendete Schaltstrategie auf anderen Auslösekriterien beruht und sich maßgeblich von der in Kapitel 6.2 beschriebenen Strategie unterscheidet.

7.3 Praxisanwendung Wirksamkeitsanalyseverfahren

Die Anwendbarkeit der in Kapitel 5.4 vorgestellten vereinfachten Verfahrensweisen zur Wirksamkeitsanalyse wird am Beispiel einer Netzmasche geprüft. Bild 7-11 zeigt den Ablauf der Verfahrensanwendung für die Prüfung der Praxistauglichkeit und die notwendigen Daten. Neben der Betrachtung einer beispielhaft ausgewählten Störung wird die verkehrliche Wirksamkeit der NBA für den exemplarischen Zeitraum von einer Woche ermittelt.

In den Kapiteln 7.3.1 und 7.3.2 werden die für die Durchführung der Beispielanwendung benötigten Daten zusammengefasst. Kapitel 7.3.3 beschreibt die Vorgehensweise und Ergebnisse der Testanwendung und Kapitel 7.3.4 fasst die Erkenntnisse der Praxisanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens zusammen.

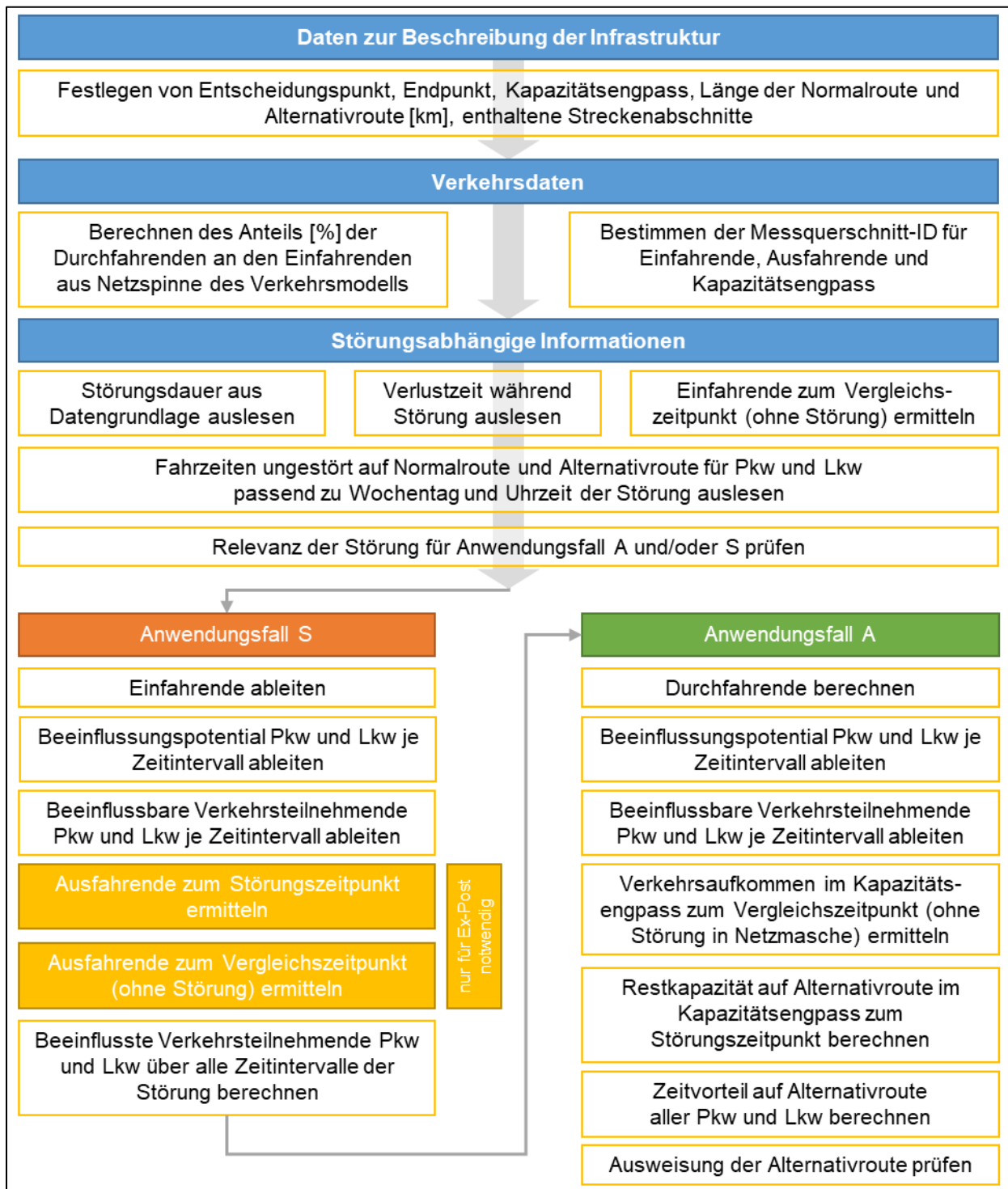


Bild 7-11 Schematische und vereinfachte Darstellung der Vorgehensweise in der Praxisanwendung

7.3.1 Parameterzusammenfassung für Anwendungsfall S

Nachfolgend werden alle für den Anwendungsfall S benötigten Daten zusammengefasst aufgeführt:

- Kenntnis über die Anordnung der dWiSta-Anzeigen und die Lage von Normal- und Alternativroute
- Anfangszeitpunkt der Störung aus den FCD-Informationen dd.mm.yyyy hh:mm (jeweils 30 Minuten-Intervallen zugeordnet)

(für Ex-Post-Untersuchung entsprechend der Schaltung der Störungsinformation auf der dWiSta-Anzeige)

- Endzeitpunkt der Störung aus den FCD-Informationen
dd.mm.yyyy hh:mm (jeweils 30 Minuten-Intervallen zugeordnet)
(für Ex-Post-Untersuchung entsprechend der Schaltung der Störungsinformation auf der dWiSta-Anzeige)
- Dauer der Störung in min aus den FCD-Informationen
(für Ex-Post-Untersuchung entsprechend der Schaltung der Störungsinformation auf der dWiSta-Anzeige)
- Verlustzeit in der Störung in min aus den FCD-Informationen
- Einfahrende in die Normalroute am Entscheidungspunkt; getrennt nach Pkw und Lkw; für einen zum Störungszeitpunkt vergleichbaren Zeitraum ohne Störung;
aus den MQ-Daten der Hauptfahrbahn und Rampen am AK des Entscheidungspunktes
- Für Ex-Post-Untersuchung:
Ausfahrende am Entscheidungspunkt (Verkehrsteilnehmende, die auf die Alternativroute wechseln); getrennt nach Pkw und Lkw zum Störungszeitpunkt und für einen vergleichbaren Zeitraum ohne Störung;
aus den MQ-Daten der Hauptfahrbahn und Rampen am AK des Entscheidungspunktes

7.3.2 Parameterzusammenfassung für Anwendungsfall A

Nachfolgend werden alle für den Anwendungsfall A benötigten Daten zusammengefasst aufgeführt:

- Kenntnis über die Anordnung der dWiSta-Anzeigen und die Lage von Normal- und Alternativroute
- Kenntnis über die Fahrzeiten für Lkw und Pkw für die Normal- und Alternativroute(n)
- Anfangszeitpunkt der Störung (aus den FCD-Informationen)
Format: dd.mm.yyyy hh:mm (jeweils 30 Minuten-Intervallen zugeordnet)
(für Ex-Post-Untersuchung entsprechend der Schaltung der Alternativroutenempfehlung auf der dWiSta-Anzeige)
- Endzeitpunkt der Störung (aus den FCD-Informationen)
Format: dd.mm.yyyy hh:mm (jeweils 30 Minuten-Intervallen zugeordnet)
(für Ex-Post-Untersuchung entsprechend der Schaltung der Alternativroutenempfehlung auf der dWiSta-Anzeige)
- Dauer der Störung in Minuten (aus den FCD-Informationen)
(für Ex-Post-Untersuchung entsprechend der Schaltung der Alternativroutenempfehlung auf der dWiSta-Anzeige)
- Verlustzeit in der Störung in Minuten aus den FCD-Informationen
- Einfahrende in die Normalroute am Entscheidungspunkt; getrennt nach Pkw und Lkw; für einen zum Störungszeitpunkt vergleichbaren Zeitraum ohne Störung;
aus den MQ-Daten der Hauptfahrbahn und der Rampen am AK / AD des Entscheidungspunktes
- Durchfahrende getrennt nach Lkw und Pkw;
aus den Zielspinnen des Netzmodells der Bundesverkehrswegeplanung [NEMOBFSTR 2021]
- Kenntnis über die maximale Kapazität des Engpasses auf der Alternativroute;
aus MQ-Daten oder auf Basis von Erfahrungswerten
- Verkehrsaufkommen getrennt nach Pkw und Lkw auf Alternativroute im Kapazitätsengpass zu einem vergleichbaren Zeitpunkt ohne Störung;
aus den Daten des MQ am Kapazitätsengpass

- Für Ex-Post-Untersuchung:
Ausfahrende am Entscheidungspunkt (Verkehrsteilnehmende, die auf die Alternativroute wechseln); getrennt nach Pkw und Lkw zum Störungszeitpunkt und für einen vergleichbaren Zeitraum ohne Störung;
aus den MQ-Daten der Hauptfahrbahn und Rampen am AK / AD des Entscheidungspunktes

7.3.3 Testanwendung

Die Wirksamkeit einer möglichen (ex-ante) oder erfolgten (ex-post) Informations- oder Empfehlungsschaltung der dWiSta-Anzeigen wird durch das Anwenden der entwickelten Verfahrensvorschrift beispielhaft für die Kalenderwoche 43 vom 21.10.-27.10.2019 analysiert. In der Verfahrensvorschrift ist demgegenüber ein Zeitraum zur Anwendung von zwei Jahren definiert worden, um eine aussagekräftige Grundlage zur Beschreibung der Störungscharakteristik in der Netzmasche zu erhalten, da diese u.a. auch durch jahreszeitliche Schwankungen im Verkehrsaufkommen mit beeinflusst werden kann.

Zuerst werden die benötigten Parameter und Daten ausgewählt und beschrieben. Anhand der Berechnung eines konkreten Beispiels wird die Anwendbarkeit des Verfahrens bewertet. Zum Ende wird die Wirksamkeit der dWiSta-Anzeige über den gewählten Zeitraum von einer Woche benannt.

Daten zur Beschreibung der Infrastruktur

Für die Beispielanwendung wird die Netzmasche 2 mit dem Entscheidungspunkt am AK Oberhausen-West auf der A3 in Fahrtrichtung Nord, dem zugehörigem Informationsstandort „Ob-W_3_N“ und dem Endpunkt am AK Dortmund-Nordwest mit dem Ziel der Weiterfahrt auf der A2 in Fahrtrichtung Hannover gewählt (siehe Bild 7-12). Weiterhin sind der Verlauf und die Streckenlängen der Normal- und Alternativroute dargestellt. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass der Verlauf der Normalroute dabei der statischen wegweisenden Beschilderung (Blaubeschilderung) auf der A3 in Fahrtrichtung Nord entspricht. Die Praxisanwendung bezieht sich nur auf die Ermittlung der Wirksamkeit für Reaktionen auf Störungen innerhalb der Netzmasche, welche durch die Anzeigen am Informationsstandort „Ob-W_3_N“ hervorgerufen werden. Die betrachteten Störungen können auch an anderen Informationsstandorten in weiteren Netzmaschen relevant sein; hierzu ist eine separate Anwendung des Verfahrens für die jeweils betrachtete Netzmasche notwendig.

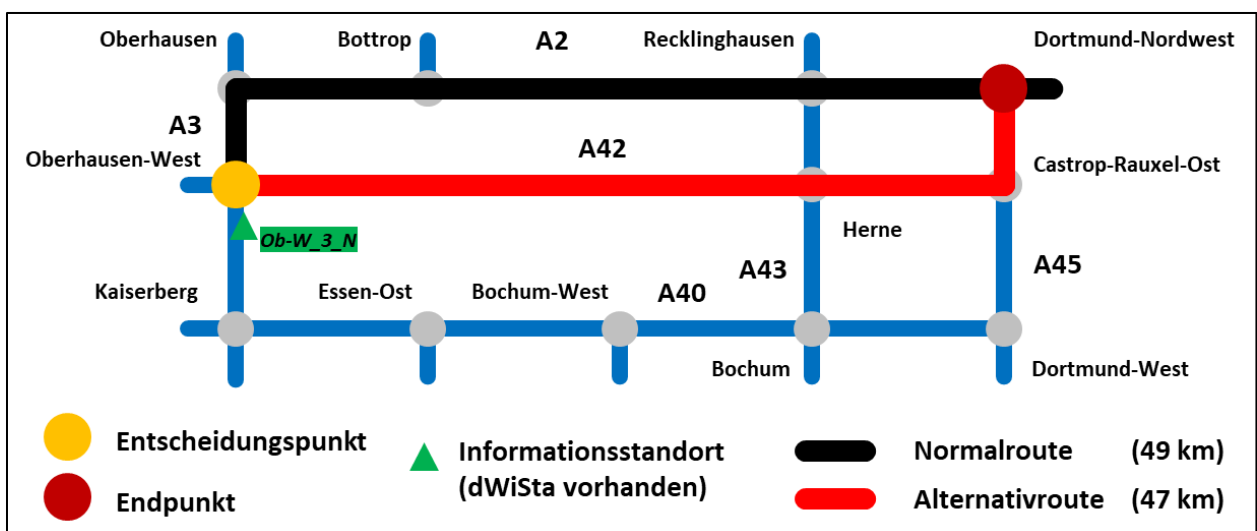


Bild 7-12 Netzmasche für Beispielanwendung mit Informationsstandort (dWiSta-Anzeige), Entscheidungspunkt und Endpunkt

Verkehrsdaten

Für die Analyse der gewählten Netzmasche und den dazugehörigen Störungen in dem Netzbereich sind grundlegende Verkehrsdaten notwendig. Neben den Einfahrenden in die Normalroute sind für eine mögliche Alternativroutenempfehlung die Durchfahrenden zu bestimmen, d.h. die Verkehrsteilnehmenden, die im Normalfall ohne Störung vom AK Oberhausen-West über die Normalroute zum AK Dortmund-Nordwest

fahren. Diese können durch eine lokale und zeitlich begrenzte Datenerfassung beispielsweise ANPR-Kameras bestimmt oder es können Daten eines makroskopischen Verkehrsmodells (Netzmodells der Bundesverkehrswegeplanung NEMOBFStr) genutzt werden.

Im folgenden Beispiel werden die Informationen aus Netzspinnen des Verkehrsmodells genutzt. Aus den DTV_{W6} -Werten des Verkehrsmodells zeigen sich 53.200 Pkw/24 h und 6.690 Lkw/24 h als Einfahrende in die Normalroute am AK Oberhausen-West von der A3 Fahrtrichtung Nord. Davon fahren 4.800 Pkw/24 h und 1.550 Lkw/24 h bis zum AK Dortmund-Nordwest. Daraus ergibt ein Prozentsatz von 9 % durchfahrenden Pkw und 23 % durchfahrenden Lkw.

Bevor konkrete Verkehrsmengen für das Verfahren benötigt werden, sind die zugehörigen Messquerschnitte für die Netzmasche zu ermitteln. Für die Interpretation der Ergebnisse des Verfahrens sind die korrekten Verkehrsmengen am Kapazitätsengpass der Alternativroute essenziell. Für den Kapazitätsengpass auf der Alternativroute wird die Überleitung von A42 auf A45 am AK Castrop-Rauxel-Ost definiert. Die Überleitung ist an dieser Stelle einstreifig und damit ein infrastruktureller Engpass der Alternativroute. Sofern bei der Durchführung der Wirksamkeitsanalyse detaillierte Ortskenntnisse für den Bereich der Netzmasche vorliegen, kann der Kapazitätsengpass auch anderweitig festgelegt werden. Im betrachteten Beispiel liegen für den Kapazitätsengpass direkt in der Überleitung im relevanten Zeitraum keine lokalen Verkehrsdaten vor. Daher wird für die Berechnungen der Messquerschnitt auf der A42 zwischen der Anschlussstelle Castrop-Rauxel und dem AK Castrop-Rauxel-Ost gewählt. Für die Beispielanwendung ist dies möglich, da hier die Anwendbarkeit des Verfahrens und nicht das Ergebnis im Vordergrund steht. Für die gewählte Netzmasche ergeben sich folgende relevante Messquerschnitte (siehe auch Bild 7-13):

- Einfahrende: MQ_3.042_HFB_NO
- Ausfahrende: MQ_3040_AB_NO_R
- Kapazitätsengpass der Alternativroute: MQ_A42.0562_HFB_NO

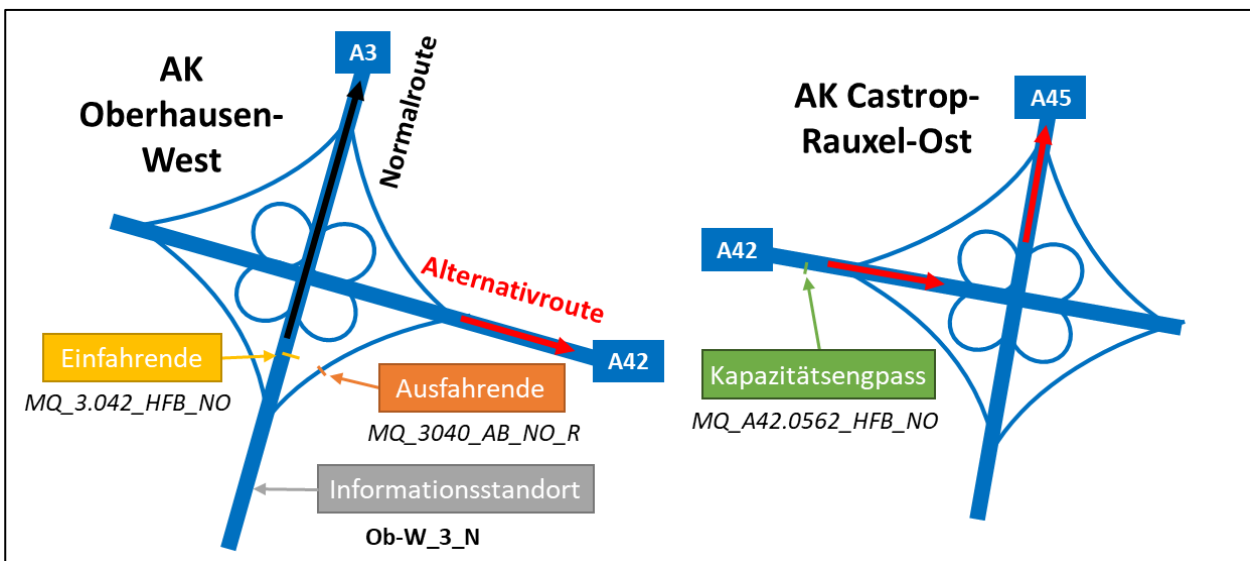


Bild 7-13 Position der Messquerschnitte am Entscheidungspunkt (links) und des Messquerschnitts am verwendeten Kapazitätsengpass auf der Alternativroute für die Beispielanwendung

Störungsabhängige Informationen

Neben den infrastrukturellen Informationen zur Netzmasche ist die Störungscharakteristik, vorrangig die Dauer und die Verlustzeit der Störung zu bestimmen. Weiterhin sind die für den störungsfreien Verkehrsfluss typischen Fahrtzeiten auf der Normal- und der Alternativroute zum Störungszeitpunkt Eingangsgrößen des Verfahrens. Für die Beispielanwendung des Verfahrens liegen aufbereitete FCD-Informationen vor. Es werden nur Störungen mit einer Mindstdauer von 15 min berücksichtigt. Aus den FCD gehen nur die Informationen zur Verlustzeit in der Störung hervor. Im Idealfall sind auch die normalen Fahrtzeiten für die Normal- und Alternativroute beinhaltet. In der Beispielanwendung wurden die gewöhnlichen mittleren Fahrtzeiten für Normal- und Alternativroute aus einem routingfähigen Netz (in diesem Beispiel aus Google Maps)

verwendet (siehe Kapitel 7.2). Die Fahrzeiten der Routen liegen für Abfahrtszeiten in 30-Minuten-Intervallen vor. Es wurden die zum jeweiligen Wochentag und Uhrzeit der Störung zugehörige Fahrzeit verwendet.

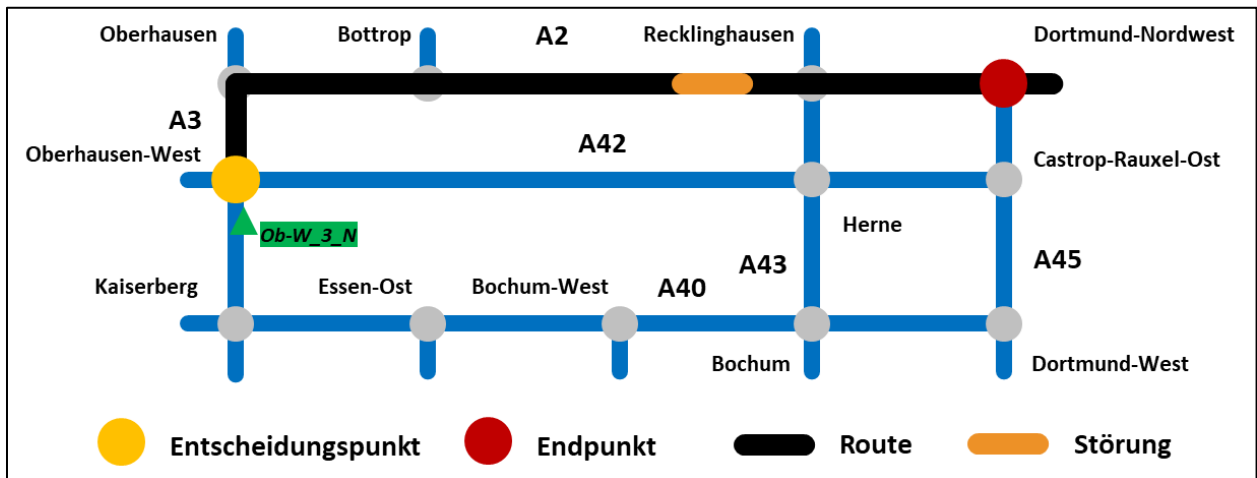


Bild 7-14 Lage der Störung für die Beispielanwendung einer vorhandenen Störung

Für die Beispielanwendung wird eine Störung auf der A2 zwischen AS Gelsenkirchen-Buer und AS Recklinghausen-Süd gewählt. In Bild 7-14 ist die Lage der Störung in orange auf der Normalroute (schwarz) eingezeichnet. Die Störung ist folgendermaßen charakterisiert:

Störungsbeschreibung	
Entscheidungspunkt	AK Oberhausen-West
Endpunkt	AK Dortmund-Nordwest
Anfangszeitpunkt der Störung	Mi. 23.10.2019 13:00 Uhr
Endzeitpunkt der Störung	Mi. 23.10.2019 15:30 Uhr
Dauer der Störung [min]	150 min
Störungsbeginn (räumlich)	AS Gelsenkirchen-Buer
Störungsende (räumlich)	AS Recklinghausen-Süd
Störungsumfang (räumlich)	5-6 km
Verlustzeit in der Störung je 30 Minuten-Intervall	Intervall 1: 11 min Intervall 2: 10 min Intervall 3: 7 min Intervall 4: 6 min Intervall 5: 7 min
Länge der Normalroute über A3 – AK Oberhausen – A2 [km]	49 km
Länge der Alternativroute über A42 – AK Castrop-Rauxel-Ost – A45 [km]	47 km
Fahrzeit ungestört Pkw auf Normalroute in min je Intervall	Intervall 1: 30 min Intervall 2: 30 min Intervall 3: 35 min Intervall 4: 35 min Intervall 5: 35 min
Fahrzeit ungestört Pkw auf Alternativroute in min je 30 Minuten-Intervall	Intervall 1: 30 min Intervall 2: 30 min Intervall 3: 35 min Intervall 4: 35 min Intervall 5: 35 min
Fahrzeitvorteil Pkw auf Alternativroute gegenüber der gestörten Normalroute in min je Intervall	Intervall 1: 11 min Intervall 2: 10 min Intervall 3: 7 min Intervall 4: 6 min Intervall 5: 7 min

Störungsbeschreibung	
Fahrtzeit ungestört Lkw auf Normalroute in min	Intervall 1: 60 min Intervall 2: 70 min Intervall 3: 70 min Intervall 4: 75 min Intervall 5: 75 min
Fahrtzeit ungestört Lkw auf Alternativroute in min	Intervall 1: 55 min Intervall 2: 60 min Intervall 3: 60 min Intervall 4: 70 min Intervall 5: 70 min
Einfahrende Pkw Normalroute ohne Störung [Pkw/30 min]	Intervall 1: 2.837 Intervall 2: 2.837 Intervall 3: 3.306 Intervall 4: 3.306 Intervall 5: 3.215
Einfahrende Lkw Normalroute ohne Störung [Lkw/30 min]	Intervall 1: 625 Intervall 2: 625 Intervall 3: 565 Intervall 4: 565 Intervall 5: 569

Tab. 7-8 Störungsbeschreibung des Beispiels der Praxisanwendung

Anhand der Störungscharakteristik wird die Relevanz der Störung für die Anwendungsfälle S und A geprüft:

Die Kriterien für Anwendungsfall S sind erfüllt:

- $STD_j \geq minSD$
Die Störung dauert mit 150 min länger an als die Minstdauer ($minSD$) von 15 min.
- $TVST_{Kfz,j,a} \geq minZVST_1$
Der Zeitverlust der Störung von 6 min bis 10 min ist in allen Intervallen größer als die Mindestverlustzeit ($minZVST_1$) von mind. 1 min.

Für die Alternativroutenempfehlung ist zunächst zu prüfen, ob auf der Alternativroute keine Störung vorliegt. Dabei sind neben der Mindestverlustzeit der Störung auch die resultierenden Fahrtzeitvorteile bei Nutzung der Alternativroute zu berücksichtigen. Die Mindestverlustzeit wird für Lkw und Pkw getrennt betrachtet. Damit alle Bedingungen für eine Alternativroutenempfehlung gegeben sind muss die Verlustzeit in der Störung ($TVST_{Kfz,j,a}$) größer sein als der Mindestzeitvorteil ($minZVA_{Kfz,k}$) bei Nutzung der Alternativroute gegenüber der Normalroute im Störfall und der Fahrtzeitdifferenz zwischen Normalroute und Alternativroute ($U_{P_{i,k}}$ bzw. $U_{L_{i,k}}$). Im Verfahren wird ein Mindestzeitvorteil von 10 min verwendet. Der Zeitvorteil bei Nutzung der Alternativroute ($ZVA_{P,j,a}$ bzw. $ZVA_{L,j,a}$) ergibt sich aus der Addition der Fahrtzeit der Normalroute ohne Störung und der Verlustzeit in der Störung reduziert um die Fahrtzeit auf der ungestörten Alternativroute. Maßgebend für die Ausweisung einer Alternativroute ist, dass der Zeitvorteil für die Pkw-Fahrenden ($ZVA_{P,j,a}$) größer als der Mindestzeitvorteil ($minZVA_{Kfz,k}$) sein muss.

Die Kriterien für Anwendungsfall A sind erfüllt:

- Auf der Alternativroute liegt keine Störung vor
- $STD_j \geq minSD$
Die Störung dauert mit 150 min länger an als die Minstdauer ($minSD$) von 15 min.
- $TVST_{Kfz,j,a} \geq minZVST_2$
Der Zeitverlust der Störung von 11 bzw. 10 min ist nur in den Intervallen 1 und 2 größer als die Mindestverlustzeit ($minZVST_2$) von mind. 10 min.
In den Intervallen 3 bis 5 ist dieses Kriterium nicht erfüllt.
- $TVST_{Kfz,j,a} > U_{P_{i,k}}$
Die Verlustzeit in der Störung ist größer als die Pkw-Fahrtzeitdifferenz zwischen Normal- und Alternativroute im ungestörten Zustand.

- $TVST_{Kfz,j,a} > U_{L_i,k}$
Die Verlustzeit in der Störung ist größer als die Lkw-Fahrtzeitdifferenz zwischen Normal- und Alternativroute im ungestörten Zustand.
- $ZVA_{P,j,a} \geq \min ZVA_{Kfz,k}$
Der Fahrtzeitvorteil auf der Alternativroute ist nur in den Intervallen 1 und 2 größer als der Mindestzeitvorteil ($\min ZVA_{Kfz,k}$) von 10 min. In den Intervallen 3 bis 5 ist dieses Kriterium nicht erfüllt.

Anwendungsfall S für eine Störung

Im Anwendungsfall S wird zunächst aus den Einfahrenden Pkw und Lkw in die Normalroute das Beeinflussungspotential je Zeitintervall für Pkw und Lkw abgeleitet. Basis hierfür stellt die Verkehrsstärkeganglinie des Messquerschnittes der Einfahrenden dar (siehe Bild 7-15). Davon können die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden je Zeitintervall abgeleitet werden: Dazu werden die Verkehrsmengen eines passenden Vergleichszeitraum (ohne Störung) zur Störung für jedes Intervall der Störung aus den Ganglinien ermittelt (siehe Bild 7-16).

Für die Anwendung des Verfahrens im Rahmen der Ex-Ante-Untersuchung können die beeinflussten Verkehrsteilnehmenden von den beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden abgeleitet werden. Dazu werden die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden je Zeitintervall über die komplette Störungsdauer summiert.

Im Falle einer Ex-Post-Untersuchung werden die beeinflussten Verkehrsteilnehmenden aus den ausfahrenden Verkehrsteilnehmenden berechnet. Die Ableitung der Kenngröße wird anhand der Differenz der ausfahrenden Pkw bzw. Lkw auf die Alternativroute im Störungszeitraum und zu einem störungsfreien Vergleichszeitraum ermittelt. Dazu sind die Verkehrsmengen des zuvor definierten MQ heranzuziehen.

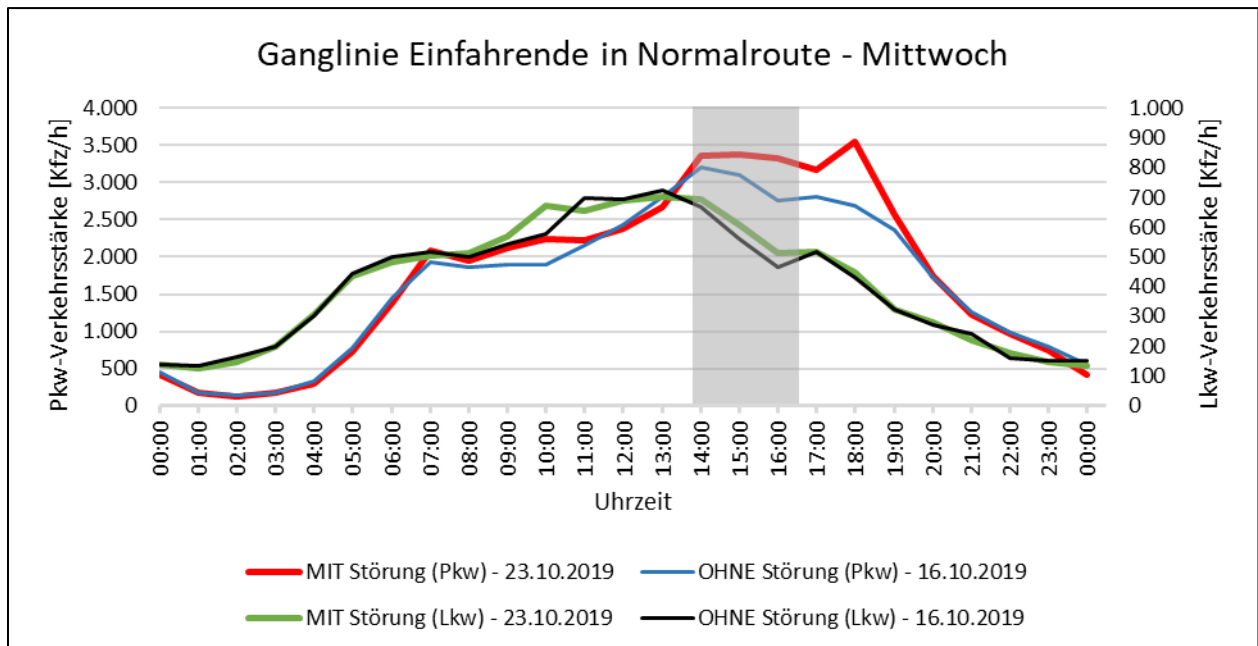


Bild 7-15 Verkehrsstärkeganglinie des Messquerschnitts MQ_3.042_HFB_NO – Störungstag und Vergleichstag für die Beispielanwendung (graue Markierung zeigt den Zeitbereich der Störung)

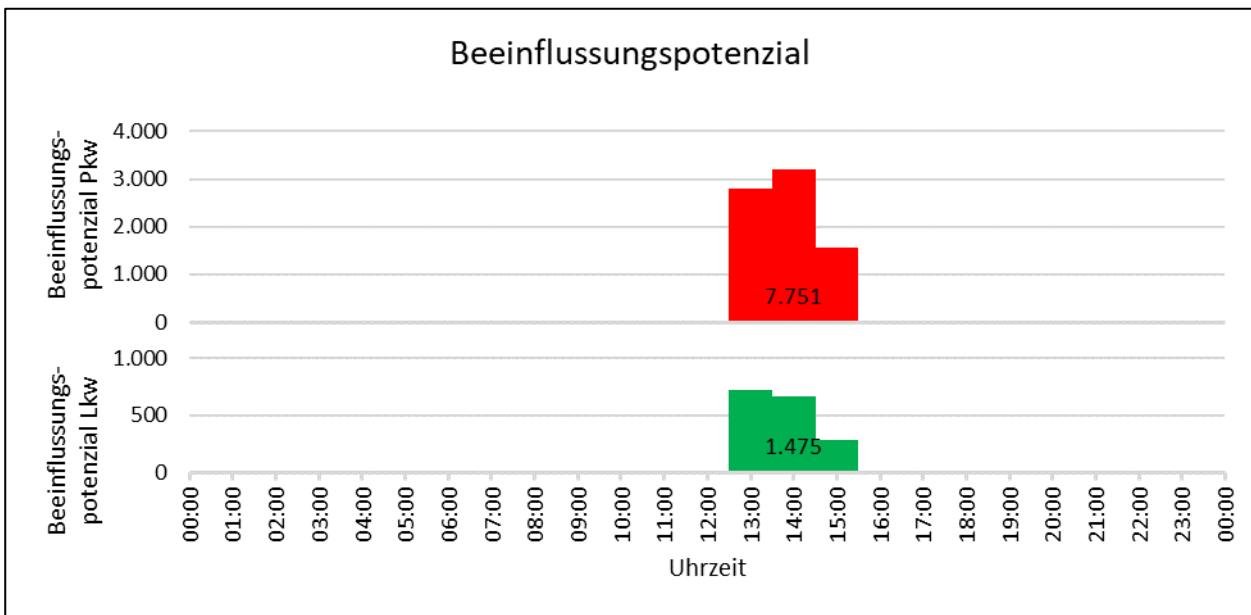


Bild 7-16 Beeinflussungspotenzial und beeinflussbaren Verkehrsteilnehmende für die Beispielanwendung

Im vorliegenden Beispiel wurde keine Störungsinformation auf den dWiSta-Anzeigen dargestellt. Im betrachteten Untersuchungszeitraum (43. Kalenderwoche) kann das Verfahren an zwei Störungen bzw. Störungsinformationen angewendet werden. Die Ergebnisse der Wirksamkeitsanalyse der kompletten Woche werden am Ende der Praxisanwendung dargestellt.

Für den Anwendungsfall S in der Ex-Ante-Untersuchung zeigen sich für das aufgeführte Beispiel folgende Ergebnisse:

Ergebnis	
Beeinflussungspotential Pkw je Zeitintervall	Entsprechend der Ganglinie Pkw des Messquerschnitts MQ_3.042_HFB_NO (siehe Bild 7-16)
Beeinflussungspotential Lkw je Zeitintervall	Entsprechend der Ganglinie Lkw des Messquerschnitts MQ_3.042_HFB_NO (siehe Bild 7-16)
Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw je Zeitintervall mit Störung	Intervall 1: 1.419 Pkw Intervall 2: 1.419 Pkw Intervall 3: 1.653 Pkw Intervall 4: 1.653 Pkw Intervall 5: 1.608 Pkw
Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw je Zeitintervall mit Störung	Intervall 1: 313 Lkw Intervall 2: 313 Lkw Intervall 3: 283 Lkw Intervall 4: 283 Lkw Intervall 5: 285 Lkw
Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Pkw über alle Zeitintervalle mit Störung	7.751 Pkw
Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Lkw über alle Zeitintervalle mit Störung	1.475 Lkw

Tab. 7-9 Ergebnis der Praxisanwendung für Anwendungsfall S am Beispiel einer Störung

Im Vergleich zum Ex-Post-Verfahren kann es vorkommen, dass die Wirksamkeit der NBA etwas überschätzt wird. Die Einfahrenden im störungsfreien Zustand haben nicht unbedingt alle das Ziel die Netzmasche bis ans Ende zu durchfahren, werden jedoch auch über die Störung informiert. Da im Ex-Ante-Verfahren nicht abzuschätzen ist, wer tatsächlich beeinflusst wurde - sind die beeinflussten Verkehrsteilnehmenden jedoch gleichzusetzen mit den beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden.

Zur Einordnung des Ergebnisses: Von den im Jahresdurchschnitt täglich auf der A3 ausgehend vom AK Oberhausen-West in die Netzmasche A3 → AK Oberhausen → A2 bis zum AK Dortmund-Nordwest 53.200 einfahrenden Pkw und 6.690 einfahrenden Lkw würden während des Störungszeitraumes von

150 min insgesamt 7.751 Pkw und 1.475 Lkw von der Störungsinformation profitieren und ggf. in ihrer Routenwahl beeinflusst.

Anwendungsfall A für eine Störung

Für die Beispielanwendung sind für einen Teilzeitraum auch die Bedingungen für den Anwendungsfall A gegeben (siehe Störungsbeschreibung in Tab. 7-8). Das Beeinflussungspotenzial für eine Alternativroutenempfehlung beinhaltet nur die Verkehrsteilnehmenden, die die Normalroute bis zum Ende der Netzmasche befahren (Durchfahrende). Da im Rahmen der Beispielanwendung keine Verkehrszahlen der Durchfahrenden aus einer Stromverfolgung (z. B. über ANPR- oder Bluetooth-Detektion) vorliegen, werden die Erkenntnisse aus dem Verkehrsmodell verwendet. Durch Multiplikation der Einfahrenden mit dem jeweiligen Prozentsatz des Anteils der Durchfahrenden für Pkw und Lkw ergeben sich die Durchfahrenden für das entsprechende Zeitintervall. Davon können die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden je Zeitintervalle abgeleitet werden. Hierfür werden die Verkehrsmengen zu einem passenden Vergleichszeitraum (ohne Störung) zur Störung aus Verkehrsstärkeganglinien des Messquerschnitts der Einfahrenden (MQ_3.042_HFB_NO; siehe Bild 7-13) für jedes Intervall der Störung mit den Anteilen für Pkw (9 %) und für Lkw (23 %) für Durchfahrende aus dem Verkehrsmodell multipliziert.

Das Kriterium der Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung ist für die Intervalle 1 und 2 der Störung gegeben. In diesen Zeiträumen ist eine ausreichende Restkapazität im Kapazitätsengpass auf der Alternativroute vorhanden und das zusätzliche Verkehrsaufkommen durch die Nutzung der Alternativroute kann aufgenommen werden. Es ist anzumerken, dass für den infrastrukturbedingten Engpass auf der Alternativroute die Annahme getroffen wurde, dass es sich um die Rampenfahrbahn im AK Castrop-Rauxel-Ost handelt. Hierfür wurde eine Kapazität von 2.000 Kfz/h in den Berechnungen berücksichtigt wurde (gemäß HBS [FGSV 2015] für einen ein-streifig ausgebauten Autobahnabschnitt im Verflechtungsbereich). Sofern eine Engstelle und deren Kapazität auf der Alternativroute bekannt ist, sind diese genaueren Werte zu verwenden.

Der entstehende Zeitvorteil aller Pkw und Lkw durch die Nutzung der Alternativroute anstatt der gestörten Normalroute über alle Zeitintervalle der Störung wird als verkehrliche Wirkung der Alternativroutenempfehlung angesehen. Dieser berechnet sich aus der Multiplikation der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden mit dem Zeitvorteil des jeweiligen Intervalls, summiert über alle Intervalle der Störung.

Ergebnis	
Beeinflussungspotential Pkw je Zeitintervall	Abgeleitet aus der Ganglinie Pkw des Messquerschnitt MQ_3.042_HFB_NO (siehe Bild 7-16) Multipliziert mit dem Prozentsatz an Durchfahrenden für Pkw aus dem Verkehrsmodell
Beeinflussungspotential Lkw je Zeitintervall	Abgeleitet aus der Ganglinie Lkw des Messquerschnitt MQ_3.042_HFB_NO (siehe Bild 7-16) Multipliziert mit dem Prozentsatz an Durchfahrenden für Lkw aus dem Verkehrsmodell
Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw je Zeitintervall mit Störung	Intervall 1: 128 Pkw Intervall 2: 139 Pkw
Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw je Zeitintervall mit Störung	Intervall 1: 72 Lkw Intervall 2: 69 Lkw
Verkehrsaufkommen Pkw in 30 Minuten-Intervallen auf Alternativroute im Engpass	Intervall 1: 663 Pkw Intervall 2: 663 Pkw
Verkehrsaufkommen Lkw in 30 Minuten-Intervallen auf Alternativroute im Engpass	Intervall 1: 204 Lkw Intervall 2: 204 Lkw
Kapazität C in Kfz für Kapazitätsengpass in 30 Minuten-Intervallen	Intervall 1: 1.000 Kfz Intervall 2: 1.000 Kfz
Restkapazität auf Alternativroute je Zeitintervall im Kapazitätsengpass	Intervall 1: 388 Kfz Intervall 2: 388 Kfz
Zeitvorteil je Pkw auf Alternativroute je Zeitintervall	Intervall 1: 11 min Intervall 2: 10 min

Ergebnis	
Zeitvorteil je Lkw auf Alternativroute je Zeitintervall	Intervall 1: 16 min Intervall 2: 20 min
Zeitvorteil aller Pkw über alle Zeitintervalle mit Störung	2.794 Kfz*min
Zeitvorteil aller Lkw über alle Zeitintervalle mit Störung	2.537 Kfz*min
Zusätzliches Verkehrsaufkommen auf Alternativroute je Zeitintervall	Intervall 1: 200 Kfz Intervall 2: 200 Kfz

Tab. 7-10 Ergebnis der Praxisanwendung für Anwendungsfall A am Beispiel einer Störung

Exemplarische Anwendung des Verfahrens für eine komplette Woche

Für die Analyse der Wirksamkeit der NBA wurde für die Beispielanwendung die Kalenderwoche 43 (21.10. – 27.10.2019) gewählt. Es wurde sowohl eine Ex-Post-, als auch eine Ex-Ante-Analyse durchgeführt.

Für die Ex-Post-Analyse werden je nach Anwendungsfall die in den Kapiteln 7.3.1 und 7.3.2 aufgeführten Parameter und Kenngrößen der Störungsmeldungen auch die Schaltungsprotokolle der dWiSta-Anzeigen benötigt. Folgende Störungen werden betrachtet:

Nr.	Datum	Zeitraum (Schaltungsprotokoll)	Anzeigeinhalt (Schaltungsprotokoll)	Störungsumfang (FCD-Information)	Verlustzeit (FCD-Information)	Anwendungsfall
1	Do 24.10.19	15:45 – 16:00 Uhr (15 min)	Stau 6 km [42] Dortmund ----- Dortmund via [3] Oberhaus. via [2] Hannover	Intervall 1: 8 km	Intervall 1: 15 min	A
2	Do 24.10.19	15:45 – 17:15 Uhr (90 min)	Stau 6 km [42] Dortmund	Intervall 1: 8 km Intervall 2: 8 km Intervall 3: 1 km	Intervall 1: 15 min Intervall 2: 10 min Intervall 3: 10 min	S (teilweise parallel mit Nr. 1)
3	Fr 25.10.19	16:30 – 18:15 Uhr (105 min)	Stau 4 km [3] Arnheim hinter OB-West	alle Intervalle: 6 km	alle Intervalle: 7 min	S
4	Fr 25.10.19	16:00 – 18:15 Uhr (135 min)	Stau 3 - 8 km [42] Dortmund	Intervall 1: 7 km Intervall 2: 9 km Intervall 3: 10 km Intervall 4: 6 km Intervall 5: 5 km	Intervall 1: 33 min Intervall 2: 44 min Intervall 3: 26 min Intervall 4: 12 min Intervall 5: 7 min	S

Tab. 7-11 Störungen mit Anzeige an der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ in KW 43 / 2019 für die Ex-Post-Betrachtung

Bei der Anwendung des Verfahrens sind viele Kenngrößen für mehrere Störungen identisch und können übertragen werden.

Für die ex-ante Betrachtung werden alle Störungen auf der Normalroute (A3 → A2) unter Verwendung der FCD-Informationen gesammelt. Dabei werden alle Störungen mit einer Dauer von mind. 15 min betrachtet. Liegen zeitgleich mehrere Störungen auf der Route vor, werden die Fahrtzeitverluste aggregiert. Für jede dieser Störungen werden die notwendigen Informationen (siehe Parameterzusammenfassung je Anwendungsfall gemäß Kapitel 7.3.1 bzw. 7.3.2) zusammengestellt.

Zunächst wurde zusätzlich der Verkehrszustand auf der Alternativroute zu den Zeitpunkten der Störungen analysiert. Sofern zu den jeweiligen Zeitpunkten eine störungsfreie Alternativroute vorlag, wurde neben dem Anwendungsfall S auch der Anwendungsfall A für diese Störungen untersucht.

Für die untersuchte Kalenderwoche zeigen sich 10 Störungen auf der Normalroute (A3 → A2). Bei 2 Störungen davon ist die Alternativroute frei von Störungen und der Zeitverlust je 30 Minuten-Intervall größer als der Mindestzeitverlust zur Auslösung einer Alternativroutenempfehlung. Für diese beiden Störungen sind ebenfalls alle weiteren Bedingungen für eine Alternativroutenempfehlung erfüllt.

Am Standort der dWiSta-Anzeige können auch Störungsinformationen für alle abzweigenden Autobahnabschnitte angezeigt werden. Aus diesem Grund werden neben den Störungen der Normalroute der Netzmaße (A3 → A2) auch die Störungen auf der A42 und A45 in Betracht gezogen. Damit ergeben sich weitere

11 Störungen, für die jeweils der Anwendungsfall S untersucht wird. Für zwei Störungen davon sind auch Alternativroutenempfehlungen denkbar.

Tab. 7-12 zeigt die Übersicht der Störungen in der betrachteten Netzmasche sowie die Anzahl betroffener 30 Minuten-Intervalle innerhalb der Kalenderwoche 43 / 2019. Es ist dabei zu beachten, dass dies lediglich die Wirksamkeit der NBA für die betrachtete Netzmasche (A3 → A2 und A42 → A45) darstellt. Über den Informationsstandort können darüber hinaus auch noch für weitere Richtungen und Netzmaschen Informationen an die Verkehrsteilnehmenden übermittelt werden. Hierfür sind separate Betrachtungen notwendig.

Schlussendlich werden alle beeinflussten Verkehrsteilnehmenden und Zeitvorteile summiert.

Wirksamkeitsbetrachtung			Anwendungsfall S	Anwendungsfall A
ex-post	Störungen auf Normalroute (A3 oder A2)	mit Anzeige am Standort „Ob-W_3_N“	1 Störung (Störung Nr. 3 aus Tab. 7-11) Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 4	
	Störungen auf Alternativroute (A42 oder A45)	mit Anzeige am Standort „Ob-W_3_N“	2 Störungen (Störungen Nr. 2 und 4 aus Tab. 7-11) Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 8	1 Störung (Störung Nr. 1 aus Tab. 7-11) Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 1
ex-ante	Störungen auf Normalroute (A3 oder A2)	Störungsmeldungen aus FCD	10 Störungen; Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 32	
		Relevante Störungen für Anwendungsfall A oder S (Schritt A1/S1)	10 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 32	2 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 4
		davon Bedingung für Alternativroutenempfehlung erfüllt (Schritt A5)		2 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 4
		davon Restkapazität ausreichend; Ausweisung der Alternativroute möglich (Schritt A6)		2 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 4
	Störungen auf Alternativroute (A42 oder A45)	Störungsmeldungen aus FCD	11 Störungen; Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 34	
		Relevante Störungen für Anwendungsfall A oder S (Schritt A1/S1)	11 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 34	2 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 3
		davon Bedingung für Alternativroutenempfehlung erfüllt (Schritt A5)		2 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 3
		davon Restkapazität ausreichend; Ausweisung der Alternativroute möglich (Schritt A6)		2 Störungen Anzahl 30 Minuten-Intervalle: 3

Tab. 7-12 Übersicht der Anzahl der Störungen für Anwendungsfall S und A in KW 43 / 2019

Die Ergebnisse der Gesamtanalyse für die Wirksamkeit des NBA-Standortes „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 2019 sind in Tab. 7-13 und Tab. 7-14 zusammengefasst.

Bei dem Abgleich von Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchung zeigen sich in der Beispielanwendung unterschiedliche Ergebnisse, obwohl für die Netzmasche im Untersuchungszeitraum bereits eine dWiSta-Anzeige vorhanden ist. Diese Abweichungen sind durch die unterschiedliche Schaltstrategie begründet.

Anstelle der unterstellten Schaltstrategie (gemäß Kapitel 6.2) und der Bewertungskriterien der Störungen (Beurteilung anhand vorhandener Verlustzeiten) wurde die Entscheidung zur Anzeige von Störungsinformationen und Alternativroutenempfehlungen im Untersuchungszeitraum manuell durch die Mitarbeitenden in den Verkehrszentralen auf Basis der Information zur Staulänge aus den Verkehrsmeldungen der Landesmeldestelle, der Beurteilung der aktuellen Verkehrsbelastungen auf den Routen sowie dem Erfahrungswissen der Mitarbeitenden in den Verkehrszentralen getroffen.

Daher erscheinen in der Ex-Ante-Betrachtung weitere mögliche Störungen mit Alternativroutenempfehlungen als tatsächlich in den Schaltungsprotokollen enthalten.

Anwendungsfall S		Pkw	Lkw
ex-ante	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43 bei Störungen auf Normalroute (A3 → A2)	44.387 Pkw	8.819 Lkw
	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43 bei Störungen auf Alternativroute (A42 → A45)	13.344 Pkw	2.753 Lkw
ex-post	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43 bei Störungen auf Normalroute (A3 → A2) (im Sinne der Nutzung der Alternativroute A42 → A45)	607 Pkw	39 Lkw

Tab. 7-13 Beeinflusste Verkehrsteilnehmende am Standort der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 / 2019 im Anwendungsfall S
(Den Berechnungen liegen unterschiedliche Steuerungsstrategien zu Grunde: Ex-Ante-Analyse auf Grundlage des Strategieplanungsvorgehens aus Kapitel 6.2; Ex-Post-Analyse unter Verwendung der Schaltungsdaten auf Grundlage der zum Zeitpunkt verwendeten manuellen Schaltstrategie)

Anwendungsfall A		Pkw	Lkw
ex-ante	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43 bei Störungen auf Normalroute (A3 → A2)	324 Pkw	242 Lkw
	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43 bei Störungen auf Alternativroute (A42 → A45)	193 Pkw	29 Lkw
	Zeitvorteil aller beeinflussten Kfz in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43	6.867 Pkw*min	4.269 Lkw*min
ex-post	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43	37 Pkw	18 Lkw
	Zeitvorteil aller beeinflussten Kfz in allen gestörten Zeitintervallen der KW 43	556 Pkw min	179 Lkw min

Tab. 7-14 Beeinflusste Verkehrsteilnehmende und Zeitvorteil am Standort der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 / 2019 im Anwendungsfall A
(Den Berechnungen liegen unterschiedliche Steuerungsstrategien zu Grunde: Ex-Ante-Analyse auf Grundlage des Strategieplanungsvorgehens aus Kapitel 6.2; Ex-Post-Analyse unter Verwendung der Schaltungsdaten auf Grundlage der zum Zeitpunkt verwendeten manuellen Schaltstrategie)

Zur Ermittlung des Nutzens der NBA können die Zeitkostensätze nach BAUM & KRANZ [2012] (siehe Kapitel 5.2.3 und Tab. 5-2) verwendet werden. Durch Multiplikation mit den berechneten Zeitvorteilen der beeinflussten Verkehrsteilnehmenden durch die Alternativroutenempfehlung ergibt sich für den betrachteten Untersuchungszeitraum (KW 43 2019) für den Einsatz der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ bei Störungen innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 ein erwartbarer verkehrlicher Nutzen von 3.499 €.

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der Ex-Ante- und Ex-Post-Analyse ist zu berücksichtigen, dass den Berechnungen unterschiedliche Steuerungsstrategien zu Grunde liegen: Ex-Ante-Analysen erfolgten auf Grundlage des Strategieplanungsvorgehens aus Kapitel 6.2; für die Ex-Post-Analyse wurden Schaltungsdaten auf Grundlage der zum Zeitpunkt verwendeten manuellen Schaltstrategie verwendet. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse dieser Beispielanwendung ist nicht möglich.

		Pkw	Lkw	gesamt
Zeitkostensatz		8,21 €	35,99 €	
Verkehrlicher Nutzen Anwendungsfall A				
ex-ante	Potenzieller Zeitvorteil [h] der möglichen Schaltungen	115	71	
	Potenzieller Nutzen (unter Berücksichtigung der in Kapitel 6.2 beschriebenen Steuerungsstrategien)	944 €	2.555 €	3.499 €
ex-post	Tatsächlicher Zeitvorteil [h] der durchgeführten Schaltungen	9	3	
	Tatsächlicher Nutzen (auf Basis der im Untersuchungszeitraum angewendeten manuellen Schaltstrategie, welche sich von den in Kapitel 6.2 beschriebenen Steuerungsstrategien unterscheidet)	74 €	108 €	182 €

Tab. 7-15 Verkehrlicher Nutzen des NBA-Standortes „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 / 2019
(Den Berechnungen liegen unterschiedliche Steuerungsstrategien zu Grunde: Ex-Ante-Analyse auf Grundlage des Strategieplanungsvorgehens aus Kapitel 6.2; Ex-Post-Analyse unter Verwendung der Schaltungsdaten auf Grundlage der zum Zeitpunkt verwendeten manuellen Schaltstrategie)

Für die Einordnung der Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich nur um den Nutzen der dWiSta-Anzeige für Störungen innerhalb der betrachteten Netzmasche handelt: Die Verkehrsteilnehmenden werden zusätzlich über vorhandene Störungen informiert. Ansätze zur monetären Bewertung dieser Verkehrsinformation liegen derzeit noch nicht vor.

7.3.4 Erkenntnisse aus der exemplarischen Praxisanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens

Verfahrensapplication als Rechenbeispiel

Die Anwendung des entwickelten Verfahrens zur Abschätzung der Wirksamkeit (ex-ante) hat gezeigt, dass es im Beispielnetz für beide Anwendungsfälle A und S anhand der vorliegenden Verfahrensbeschreibung umsetzbar ist. Die Kenngrößen sind eindeutig definiert, die Berechnungsschritte sind klar nachzuvollziehen und auch mit einer überschaubaren Menge an Daten aus Messquerschnitten zu befüllen. Das Verfahren für die beiden Anwendungsfälle erscheint zunächst aufwändig, es wird jedoch schnell deutlich, dass viele Informationen an mehreren Stellen im Verfahren verwendet werden und insgesamt nur wenige Kenngrößen je Störung ermittelt werden müssen. Dies führt dazu, dass auch eine Analyse eines größeren Zeitraumes kein Problem darstellen sollte. Um eine zeiteffiziente Analyse der Wirksamkeit einer NBA zu ermöglichen, ist eine automatisierte Auswertung sinnvoll. Dazu sind die zu verwendenden Eingangsdaten einmalig und einheitlich aufzubereiten. So war ein manueller Aufwand von mehreren Stunden für die Aufbereitung der relevanten Eingangsdaten notwendig. Bei größeren Netzmaschen oder Zeiträumen ist von einem linear ansteigenden Aufwand auszugehen, weshalb zu erwarten ist, dass der Aufwand für die Erstellung eines softwarebasierten Tools zur automatisierten Auswertung bereits bei einer Anwendung für mehrere Netzmaschen lohnenswert ist.

Die Bestimmung der Kapazität und der Restkapazität des Engpasses auf der Alternativroute im Anwendungsfall A und der Ausfahrenden am Entscheidungspunkt für die Ex-Post-Untersuchung im Anwendungsfall S ist im Vergleich etwas aufwändiger als die anderen Arbeitsschritte. Für diese Berechnungen ist es zwingend notwendig, dass aktuelle Daten der relevanten Messquerschnitte zum Störungszeitpunkt vorliegen. Probleme können auftreten, wenn in der Netzmasche für den betrachteten Untersuchungszeitraum größere Lücken in der Datenerfassung vorhanden sind und dadurch die Auswahl eines Vergleichszeitraumes (mit vergleichbarer Verkehrsnachfrage) für den Störungszeitraum erschwert wird. Falls für den Kapazitätsengpass keine Detektionsausrüstung (mit ausreichender zeitlicher Auflösung der Verkehrsdaten) vorhanden ist oder wirtschaftlich nachgerüstet werden kann, kann eine zielgerichtete Analyse der Infrastruktureinrichtungen hilfreich sein: Sofern der Engpass je Netzmasche infrastrukturbedingt und lokal festgelegt ist, kann eine (zeitweise) Detektion an dieser Stelle sinnvoll sein. In Kombination mit der vorhandenen stationären lokalen Datenerfassung in den Autobahndreiecken und -kreuzen ist dies ausreichend, um das Verfahren anzuwenden.

Eine Berechnung ohne relevante Verkehrsdaten (Pkw- und Lkw-Verkehrsbelastungen) zum Störungszeitpunkt am Entscheidungspunkt ist lediglich für die Ex-Ante-Betrachtung des Anwendungsfall S grundsätzlich denkbar, für alle anderen Anwendungsfälle ist dies nicht zu empfehlen. Sollten keine Verkehrsmengen zum Störungszeitpunkt vorliegen, besteht die Möglichkeit, ersatzweise Daten der Dauerzählstellen sowie den zugehörigen kollektiven Ganglinien zu verwenden. Die Parameter zu den Verkehrsmengen im Vergleichszeitraum ohne Störung können mithilfe der kollektiven Ganglinientypen der Dauerzählstellen aus den DTV-Werten abgeschätzt werden. Dieses Berechnungsvorgehen ist mit entsprechendem Aufwand verbunden, für jeden Störungszeitpunkt (nach Wochentag und Uhrzeit) einmalig durchzuführen, durch viele Annahmen geprägt und damit auch möglicherweise fehlerbehaftet. Für eine Abschätzung in einer Analyse vieler Störungen ist dies aber ein möglicher Ansatz.

Kleinere Unklarheiten in den Verfahrensvorschriften, die sich bei den Beispielanwendungen gezeigt haben, konnten durch eine unter diesem Eindruck detailliertere Definition von Verfahrensschritten oder Begrifflichkeiten geklärt werden. Insofern ist das Verfahren und die beschriebene Verfahrensvorschrift (siehe Anlage 2) bereits optimiert worden.

Auffällig in der Störungscharakteristik im Beispielnetz war, dass es sich bei vielen der Störungen um regelmäßig wiederkehrende Störungen handelt. Entsprechend ist es mit etwas Aufwand verbunden, einen Zeitpunkt ohne Störung zu finden, der als Vergleich herangezogen werden kann. Sofern ein vergleichbarer Tag

für den Wochentag mit Störung vorhanden ist, kann dieser als repräsentativ für weitere Störungen an diesem Wochentag verwendet werden. Bei der Auswahl der Vergleichszeiträume ist besonders darauf zu achten, dass sich die Verkehrsnachfrage des Störungstages und des Vergleichstages nicht maßgeblich unterscheidet (zu prüfen über den Abgleich der Verkehrsstärken von relevanten Messquerschnitten und der Berücksichtigung einer maximalen Abweichung) – besonders an Feiertagen oder in Ferienzeiten können dort erhebliche Differenzen vorhanden sein.

8 Ableitung von Hinweisen und Empfehlungen

Das im Forschungsvorhaben erarbeitete vereinfachte Verfahren stellt eine Weiterentwicklung der Vorgehensweise zur Wirksamkeitsermittlung von Netzbeeinflussungsmaßnahmen dar. Das Verfahren ist dabei geprägt durch den Anspruch, die Ermittlung der Wirksamkeit auf NBA-spezifische Eingangsdaten zu gründen und transparent darzustellen, um in Bezug auf die erzielten Ergebnisse die Qualität zu verbessern und die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Bei der störungsbedingten Alternativroutenempfehlung wird die Restkapazität auf der Alternativroute zum Zeitpunkt der Störung auf der Normalroute berücksichtigt. Gegenüber der bisherigen Vorgehensweise nach FGSV-Heft 311 werden relevante Störungen im Verkehrsablauf differenzierter auf Grundlage der tatsächlichen Verlustzeiten beurteilt und Wirkungen entsprechend der resultierenden Zeitvorteile für betroffene Verkehrsteilnehmende (für die Nutzergruppen Pkw und Lkw) ausgewiesen anstatt der Verwendung von pauschalen Werten für Befolgungsgrade. Durch die klare Definition des im Verfahren betrachteten Netzelementes, der Netzmasche, und damit der relevanten Verkehrsteilnehmenden kann mit einer mehrfachen (d.h. auf die einzelne Netzmasche bezogenen) Anwendung des Verfahrens auch die Wirksamkeit von vermaschten oder verketteten NBA ermittelt werden. Somit lässt sich die Wirksamkeit einer NBA in Ex-Ante-Untersuchungen abschätzen, in Ex-Post-Untersuchungen ermitteln.

Im operativen Betrieb der Komponenten zur Aktivierung von Maßnahmen werden mit dem Verfahren die gleichen Entscheidungsgrundlagen wie zur Analyse der Wirksamkeit von NBA berücksichtigt. Bei bestehenden NBA kann das Verfahren ebenfalls angewendet werden, indem die Regeln im tatsächlichen Vorgehen zur Steuerung einer NBA nicht nur bei der Ex-Post-Betrachtung, sondern auch in der Ex-Ante-Betrachtung herangezogen werden. Diese Herangehensweise einer gemeinsamen Betrachtung der Entwicklung von Steuerungsstrategien, der operativen Umsetzung und der Wirksamkeitsbeurteilung sollte in den entsprechenden FGSV-Regelwerken ergänzt werden. Als erster Schritt wird dabei gesehen, dass der entwickelte Verfahrensansatz als maßgeblicher Bestandteil des Hinweispapiers vorgesehen ist, welches im FGSV-Arbeitskreis 3.2.11 "Verkehrliche und organisatorische Anforderungen für Netzbeeinflussungsanlagen" erarbeitet wird.

Darüber hinaus ermöglicht das beschriebene Vorgehen zum Wirksamkeitsnachweis der Autobahn GmbH des Bundes und den Straßenbauverwaltungen, getroffene Strategieentscheidungen zu überprüfen, vorgenommene NBA-Schaltungen kontinuierlich zu monitoren und im Sinne eines Qualitätsmanagements Fortschreibungen zur Optimierung vornehmen zu können. Ausgangspunkt hierfür stellt allerdings eine ausreichend gute, durchgängige und zuverlässige eigene Datenerfassung oder Datenbeschaffung bei Diensteanbietern dar.

Als Grundlage der Beurteilung von Verlustzeiten innerhalb der Störungen wären FCD-Informationen verschiedener Anbieter denkbar, welche durch die Autobahn GmbH des Bundes als Betreiber der NBA beschafft werden müssten. Im Rahmen der Praxisanwendung des Verfahrens hat sich gezeigt, dass für die Verwendung dieser Daten auf Seiten der FCD-Lieferanten zum Teil erhebliche Aufwände für die Neustrukturierung in den dort etablierten Datenmodellen notwendig waren, um eine Zuordnung von Verlustzeiten und Störungen zu ermöglichen. Zudem unterscheidet sich die Bereitstellung der FCD-Informationen derzeit in Bezug auf die Bestandteile des Datensatzes und des Datenformates zwischen den einzelnen Lieferanten. Für eine regelmäßige Anwendung des entwickelten Wirksamkeitsanalyseverfahrens ist ein Standardvorgehen zur Datenaufbereitung anzustreben, wobei sich die Erweiterungen der Lieferanten-spezifischen Datenmodelle an den Anforderungen aus dem Verfahren orientieren sollten. Das Einbeziehen der Fahrtzeiten mittels Beschaffung von FCD-Informationen ist dabei für eine individuelle Beurteilung der Störungen bedeutsam. Alternativ ist auch die dauerhafte Erhebung von Fahrtzeiten auf der Normal- und Alternativroute mit ANPR oder Bluetooth-Detektoren für die Beurteilung der Störungen möglich.

Die beschriebene Methodik für das vereinfachte Verfahren verwendet neben den FCD-Informationen eine Vielzahl von Verkehrs- und Störungsdaten (für die Ex-Post-Betrachtung zusätzlich auch Daten der durch die Störungen bedingten Schaltungen). Der Gewinn an Transparenz und Nachvollziehbarkeit gegenüber dem bisherigen Vorgehen gemäß FGSV-Heft 311 bei den erzielbaren Ergebnissen bedingt einen höheren Aufwand bei der Erhebung oder Beschaffung von Eingangsdaten. Im Rahmen der Digitalisierung auf Seiten der Autobahn GmbH des Bundes sollten für diese Zwecke deshalb die wertvollen Datenbestände zu Verkehrsdaten an stationär lokalen Messquerschnitten, zu ausgewählten Daten zu den Ursachen von Störungen auf Netzabschnitten sowie zu Schaltungsdaten an bereits bestehenden NBA in einer entsprechenden Datenbank laufend gesammelt und flächendeckend dauerhaft verfügbar gehalten werden. Mit der Auto-

bahn GmbH des Bundes als für Planung, Bau und Betrieb der Bundesautobahnen zuständiges Unternehmen sollten dabei systemspezifische Konzepte zur Datenhaltung überdacht werden. Aus Sicht des Verfahrens ist der einfache Zugang zu den Verkehrsdaten eines jeden Messquerschnittes und zu den Schaltdaten von Anzeigequerschnitten, idealerweise auch zu den Ursachen der Störungen (u.a. aus den Datenhaltungen der Landesmeldestellen) erstrebenswert. Für eine barrierefreie Anwendung des Verfahrens wäre insgesamt eine bundesweit einheitliche Datenhaltung mit hoher Verfügbarkeit und Güte von großer Bedeutung.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde die prinzipielle Anwendbarkeit des vereinfachten Verfahrens dargestellt. Für einen breiteren Einsatz des Verfahrens auch im Monitoring wird die Umsetzung der Verfahrensweise in einem Software-Tool mit dem Ziel der Automatisierung und der direkten Übernahme von betreiberseitigen Verkehrs- und Schaltdaten bzw. von FCD-basierten Informationen zu Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute, Störungen und daraus resultierenden Verlustzeiten empfohlen.

Für eine effizientere Nutzung des Verfahrens kann vor Anwendung des Verfahrens eine Störungsanalyse vorgeschaltet werden, mit der typische Störungsmuster für die jeweilige Netzmasche (je Wochentag) herausgearbeitet und Clustern zugeordnet werden. Mit der Berechnung der Wirkung dieser typischen Cluster und dem Wissen der Häufigkeit dieser Störungstypen kann eine Wirksamkeitsanalyse für einen größeren Zeitraum mit geringerem Aufwand vorgenommen werden. Prinzipiell wäre eine derartige Vorstrukturierung der Störungen nicht nur in Bezug auf die Clusterung von Störungen selbst, sondern auch von zusammenhängenden Zeiträumen mit einer ähnlichen Störungscharakteristik (bspw. über einen kompletten Wochentag oder eine Kalenderwoche) anwendbar. Im Rahmen ergänzender Forschungsaktivitäten sollten diese Ansätze und damit verbundene Abweichungen der Ergebnisse gegenüber der detaillierten Betrachtung der Einzelstörungen geprüft werden.

Die vorgeschlagene Vorgehensweise des ebenfalls erarbeiteten umfassenden Verfahrens basiert auf einer Vielzahl von Parametern und Kenngrößen, insbesondere zur Beschreibung des Einflusses einer Störung auf den Verkehrsablauf, für die zum jetzigen Zeitpunkt bei der Autobahn GmbH des Bundes und auch in der Wissenschaft nur bedingt Datengrundlagen zur Verfügung stehen. Es sollte daher der Aufbau einer Wissensbasis mit Berechnungsergebnissen und Wirksamkeitsanalysen durch die Autobahn GmbH des Bundes als Betreiber bzw. durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) oder die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) angestrebt werden, die für den Vergleich verschiedener NBA bzw. zur Generierung von Kennwerten, die als Eingangsdaten im umfassenden Verfahren genutzt werden können, herangezogen werden. Daten sollten hierzu auch durch die Autobahn GmbH des Bundes konsequent verfügbar gehalten werden und in einer systematischen Datenhaltung als historische Daten zur Verfügung stehen. Auf diese Weise können vor allem Ergebnisse der durchgeführten Ex-Post-Analysen als Input für weitere Ex-Ante-Berechnungen dienen. Im Rahmen weitergehender Forschungsansätze sollten hierzu in diesen Daten aber auch systematische Datenanalysen durchgeführt werden, die notwendig sind, um erforderliche Parameter für das umfassende Verfahren zu entwickeln.

NBA (im Regelfall mit dWiSta-Anzeigen) sind nur eine von mehreren Informationsquellen über den Verkehrszustand im Netz. Um eine maximale Beeinflussungswirkung bei den Verkehrsteilnehmenden hervorzurufen, ist anzustreben, dass über alle Informationsquellen konsistente und nicht widersprüchliche Informationen verbreitet werden. In diesem Zusammenhang laufen aktuell unterschiedliche Forschungsvorhaben, in denen die kollektiven Steuerungsstrategien der Autobahn GmbH des Bundes (bis 31.12.2020 der Straßenbauverwaltungen der Bundesländer) in den NBA an die Anbieter von Navigationsdiensten weitergegeben werden. Zur Steigerung der verkehrlichen Wirkung ist dieser Austausch voranzutreiben. Letztendlich bleibt in diesem Kontext aber weiterhin offen, welchen Beitrag zur Information der Verkehrsteilnehmenden die anderen Informationsquellen zusätzlich zu dem Beitrag über die NBA leisten.

Das entwickelte Verfahren verbessert die Nachvollziehbarkeit der störungsspezifischen Wirksamkeit einer NBA gegenüber dem bestehenden Verfahren nach FGSV-Heft 311. Es können dabei flächendeckend einheitliche Datengrundlagen zu Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativrouten, zu Störungen und daraus resultierenden Verlustzeiten aus FCD verwendet werden.

Es erfolgt im entwickelten Verfahren anders als im bestehenden Verfahren nach FGSV-Heft 311 keine pauschale Zuordnung eines Befolgungsgrades je Netzmasche für eine Alternativroutenempfehlung, sondern eine Ermittlung eines störungsspezifischen Beeinflussungspotenzials, also von denjenigen beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden, die von einer Alternativroutenempfehlung profitieren können. Mit einer Er-

mittlung des Verkehrsaufkommens am Beginn einer Alternativroute bei bestehenden NBA kann ein spezifischer Befolungsgrad festgestellt und in eine Wissensbasis überführt werden. Somit können bei einer ausreichenden Größe der Wissensbasis in weiteren Forschungsansätzen dann die Einflussgrößen für den Befolungsgrad abgeleitet werden, wie dies für den Einsatz des umfassenden Verfahrens und der Ausweitung der beeinflussten Verkehrsteilnehmenden nötig wäre.

Über die üblicherweise eingesetzten dWiSta-Anzeigen werden auch regelmäßig Störungsinformationen, ergänzend zu einer Alternativroutenempfehlung oder auch nur allein, gegenüber den Verkehrsteilnehmenden kommuniziert. Diese werden im entwickelten Verfahren in das Beeinflussungspotenzial integriert, während sie im bestehenden Verfahren nach FGSV-Heft 311 unberücksichtigt bleiben. In weiteren Forschungsansätzen sollten die Möglichkeiten zur Ermittlung der tatsächlich durch eine Störungsinformation beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für eine störungsspezifische Wirksamkeitsanalyse untersucht und eine Verfahrensweise für die Ableitung eines daraus resultierenden Nutzens entwickelt werden.

Im Vorfeld von Baumaßnahmen zur Sanierung oder Erneuerung der Infrastruktur auf der Normalroute sollten aufgrund der dadurch über einen längeren Zeitraum zu erwartenden Kapazitätseinschränkungen Überlegungen zum unterstützenden, die Baumaßnahme begleitenden Einsatz einer NBA angestellt werden. In Ex-Ante-Untersuchungen für die Wirksamkeitsabschätzung können die infolge der Kapazitätseinschränkung zu erwartenden regelmäßig wiederkehrenden Störungen dazu bspw. durch den Einsatz der makroskopischen Verkehrsmodellrechnung abgeschätzt werden.

Das entwickelte Verfahren ist wie das bestehende Verfahren nach FGSV-Heft 311 nicht geeignet, um bei einer Erneuerung der NBA deren Notwendigkeit zu prüfen, da keine zu Vergleichszwecken geeigneten Zeiträume ohne die NBA vorliegen werden. Hierzu sollte eine einheitliche Nachweisführung über die Häufigkeit und die Einsatzzeiten der Schaltungen für eine Störungsinformation und Alternativroutenempfehlung sowie die Anzahl und Dauer der hierfür relevanten Störungen entwickelt werden, auf die mittels einer Strategie in einer NBA reagiert wurde.

Mit dem entwickelten Verfahren können mittels mehrfacher Anwendung vermaschte NBA (also mit Überlagerung der Einflussbereiche) oder verkettete NBA (also mit Verbindung der Einflussbereiche) ebenfalls betrachtet werden. Die Wirksamkeitsbeiträge verschiedener an einem Informationsstandort (dWiSta-Anzeige) beginnender Netzmaschen (also mit unterschiedlichen Endpunkten) werden durch eine Netzmaschen-spezifische Anwendung des Verfahrens ermittelt. Befindet sich eine zusätzliche dWiSta-Anzeige im weiteren Verlauf der Normal- oder Alternativroute einer Netzmasche, beschreibt auch dieser Standort den Beginn einer ihm zugeordneten Netzmasche, so dass das Verfahren hierauf analog angewendet werden kann. Durch diese Verfahrensweise kann ein Beitrag zum Aufbau eines Systems hoher Flexibilität mit Standorten von dWiSta-Anzeigen zur Reaktion auf Störungen im Autobahnnetz geleistet werden. Im Rahmen weiterer Forschungsansätze sollte die Erweiterung der Wirksamkeit von NBA aus deren Kombination durch eine netzbezogene Betrachtung untersucht werden.

Die Ergebnisse der Wirksamkeitsanalyse für die Anwendungsfälle S und A unterscheiden sich: Für Anwendungsfall S wird die Anzahl der beeinflussten Verkehrsteilnehmenden ausgewiesen, für Anwendungsfall A kann für die beeinflussten Verkehrsteilnehmenden der resultierende Zeitvorteil durch Nutzung der Alternativroute ermittelt werden. Unter Verwendung der entsprechender Zeitkostensätze (in diesem Forschungsvorhaben wird hier auf BAUM & KRANZ [2012] verwiesen) können daraus volkswirtschaftliche Nutzen für eine Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (NKV) im Rahmen von RE-Entwürfen abgeleitet werden. Um die Wirkung des Anwendungsfall S ebenfalls in die NKV-Berechnung integrieren zu können, ist ein Kostensatz für einen informierten Verkehrsteilnehmenden festzulegen bzw. zu ermitteln.

Die Ergebnisse der verkehrlichen Wirkungen im Anwendungsfall A (vor allem die beeinflussten und auf die Alternativroute verlagerten Verkehrsteilnehmenden) können auch als Eingangsgrößen verwendet werden, um darauf aufbauend weitere Wirkungskomponenten zu ermittelt. Es ist vorstellbar, dass die

- Änderung der Lärmemissionen im Gesamtsystem von Normal- und Alternativroute
- Änderung der Schadstoffemissionen im Gesamtsystem von Normal- und Alternativroute
- Änderung des Kraftstoffverbrauchs im Gesamtsystem von Alternativ- und Normalroute

unter Verwendung bereits existierender Berechnungsansätze durch den Vergleich der Zustände mit und ohne Alternativroutenempfehlung mit der jeweiligen geänderten Anzahl der Verkehrsteilnehmenden auf beiden Routen ermittelt werden kann. Hierzu sind jedoch weitere Einflussgrößen zum Fahrtverlauf entlang

der Routen (u.a. Geschwindigkeitsverteilung und -verlauf, Längsneigung), zur Flottenzusammensetzung (hinsichtlich Antriebsarten und Euro-Schadstoffklassen) und zum Straßenumfeld (u.a. Straßenraumbreiten, Siedlungsstruktur, Naturraum und Landschaft) erforderlich.

Ein Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen auf der Normal- bzw. Alternativroute einer Netzmaße und einer Störungsinformation bzw. Alternativroutenempfehlung an der dWiSta-Anzeige lässt sich nicht belastbar nachweisen. Es ist zu vermuten, dass die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden dadurch erhöht wird, wobei das Maß der Aufmerksamkeitsverbesserung und die erzielbare Nachhaltigkeit dabei nicht bestimmbar sind. Mit dem Anspruch an das Verfahren, dass die erzielten Ergebnisse und die dafür verwendeten Eingangsdaten nachvollziehbar sein sollen, lässt sich der derzeitige Kenntnisstand zum Einfluss einer NBA auf die Verkehrssicherheit nicht vereinbaren, weshalb die Verkehrssicherheit unberücksichtigt bleibt.

9 Zusammenfassung

Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) werden in der operativen Verkehrsbeeinflussung zur effizienteren Nutzung vorhandener Kapazitäten im Streckennetz der Bundesfernstraßen eingesetzt. Dazu wird bei Störungen auf einer definierten Normalroute der zufließende Verkehr auf eine Alternativroute verwiesen. Die Empfehlung einer Alternativroute erfolgt dabei in der Regel bei Fahrtzeitvorteilen über diese Alternativroute, während vorhandene Restkapazitäten nur bei Umsetzung von Steuerungsstrategien in bestehenden NBA in die Betrachtung einfließen. Mit etablierten, auf LED-Technik beruhenden Anzeigen zur Netzbeeinflussung (sog. dWiSta-Anzeigen) werden den Verkehrsteilnehmenden zudem auch Störungsinformationen auf der Normalroute (sowohl als eigenständige Information als auch kombiniert mit einer Alternativroutenempfehlung) als Entscheidungsgrundlage für ihr Routenwahlverhalten bereitgestellt.

Die derzeit zur Ermittlung der Wirksamkeit von NBA verwendeten Verfahren gemäß der „Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ (FGSV-Heft 311 [FGSV 2007]) berechnen die Wirkungen bezüglich des Verkehrsflusses anhand der Zeitkosten. Der Nutzen wird dabei anhand von Fahrtzeitgewinnen und Fahrzeugbetriebskosten bei Umleitung des Verkehrsaufkommens auf eine Alternativroute um eine Störung ermittelt. Es existiert ein Ex-Ante-Verfahren zur Wirksamkeitsabschätzung als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie ein Ex-Post-Verfahren zur Wirksamkeitsnachweis nach der Inbetriebnahme einer NBA. Die in die Verfahren eingehenden Kenngrößen sind allerdings empirisch schwer zu bestimmen und beruhen insbesondere für den Befolgungsgrad und für die Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute auf nicht verifizierten Annahmen.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens ist es, ein Wirksamkeitsanalyseverfahren zu erarbeiten, welches transparenter und praxistauglicher einen Nachweis der verkehrlichen Wirkung von NBA unterstützt, sowohl bei Ex-Ante-Betrachtungen (im Sinne einer Wirksamkeitsabschätzung) als auch bei Ex-Post-Betrachtungen (im Sinne einer Wirksamkeitsberechnung). Die prinzipiellen Abläufe im Verfahren sollten auch die Zusammenhänge bei der Entwicklung und Umsetzung von Steuerungsstrategien berücksichtigen.

Hierzu wurde eine Literaturanalyse (Kapitel 2.1) durchgeführt, in deren Zentrum die bisherigen Vorgehensweisen zu Wirksamkeitsanalysen von NBA gemäß Regelwerk und mittels alternativer Ansätze standen. Auch die Steuerungsstrategien, die in NBA Anwendung finden können, wurden analysiert. Diese Analyse diente dem Ziel, für ein neu zu entwickelndes Analyseverfahren relevante Grundlagen zu lokalisieren. Ergänzend dazu wurden Expertengespräche (Kapitel 2.2) mit Vertretenden der (zum Zeitpunkt der Durchführung) für Planung und Betrieb zuständigen Straßenbauverwaltungen der Bundesländer geführt. Durch den Blickwinkel aus der Praxis konnten zu den Themenkomplexen Entwicklung von Strategien und Abschätzung bzw. Berechnung der Wirksamkeit weitere wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Letztendlich war es auf dieser Basis möglich, relevante Wirkungskomponenten auszuwählen und auch deren tatsächliche Berechnungsmöglichkeit zu bewerten (vgl. Kapitel 4).

Ausgehend von den so gewonnenen Erkenntnissen wurden für NBA die Anwendungsfälle Störungsinformation (Anwendungsfall S) und Alternativroutenempfehlung (Anwendungsfall A) in einem neuen Analyseverfahren (vgl. Kapitel 5) etabliert. In diesem Verfahren steht die Abschätzung der verkehrlichen Wirkungen für den Anwendungsfall A durch Ermittlung von Veränderungen des Zeitaufwandes bei den Verkehrsteilnehmenden im Zentrum der Betrachtung. Für den Anwendungsfall S wird die Anzahl beeinflusster Verkehrsteilnehmender zur Beschreibung eines Informiertheitsgrades abgeschätzt.

Bei der Anwendung des Verfahrens muss zunächst die Charakteristik des zugrundeliegenden Netzes aus Normalroute und Alternativroute analysiert werden (vgl. Kapitel 5.4.1). Aus dieser Analyse lassen sich Hinweise auf die tatsächliche Relevanz möglicher Störungen auf der Normalroute zur Anzeige einer Störungsinformation sowie für die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung ableiten. Zunächst wird dazu ausgehend vom Entscheidungspunkt und dem Verlauf der Normalroute festgelegt, wo der Endpunkt für eine Alternativroutenempfehlung im Autobahnnetz liegt. Aus diesen Informationen lassen sich die Längen der Normalroute und der hier relevanten Alternativroute ermitteln. Wesentliche Eingangsgrößen für das Verfahren ergeben sich aus den bei der Autobahn GmbH des Bundes (bis 31.12.2020 bei den Straßenbauverwaltungen der Bundesländer) vorliegenden Kenngrößen im Verkehr. Hierbei wird zwischen dem Verkehrsaufkommen der Einfahrenden unterschieden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes in die Normalroute einfahren, und dem Verkehrsaufkommen der Durchfahrenden, die die gesamte Normalroute üblicherweise (im ungestörten Zustand) bis zum Endpunkt durchfahren. Weiterhin werden Informationen zu den Ausfahrenden auf die Alternativroute stromabwärts des Entscheidungspunktes erforderlich. Die Daten

müssen zwischen Pkw und Lkw differenziert werden. Um einen Mindestwert für eine störungsbedingte Verlustzeit definieren zu können, werden für Pkw und Lkw die spezifischen Fahrtzeiten berücksichtigt, die in diesen Fahrzeuggruppen auf der Normal- bzw. auf der Alternativroute entstehen. Sofern keine Informationen zu Fahrtzeiten auf Normal- und Alternativroute im ungestörten Zustand aus der vorhandenen Datenerfassung vorliegen, können diese ersatzweise auch aus routingfähigen Netzdaten in Zeiträumen ohne Einfluss von Störungen gewonnen werden.

Auf Alternativrouten muss das Netzelement lokalisiert werden, welches die geringste Kapazität und damit auch für die Alternativroutenempfehlung die vermeintlich geringste Restkapazität besitzt. Idealerweise befindet sich auf diesem Netzelement (bspw. Rampenfahrbahn innerhalb eines Autobahnkreuzes) eine ortsfeste Verkehrsdatenerfassung. Dies wird bei Ex-Post-Untersuchungen in der Regel der Fall sein, da zur Unterstützung der Steuerungsstrategien im laufenden Betrieb diese Verkehrsdaten laufend erforderlich sind. Falls dies nicht der Fall ist, also insbesondere im Rahmen von Ex-Ante-Untersuchungen, muss eine lokale Verkehrserhebung über mindestens vier Wochen erfolgen, um ausreichende Datengrundlagen in Zeiträumen ohne Störung zu erhalten.

Die Weitergabe der Störungsinformation (Verfahrensbeschreibung in Kapitel 5.4.2) am Entscheidungspunkt (Anwendungsfall S) hat, ob mit oder ohne ergänzende Ausweisung einer Alternativroute, auch Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden. Die Anzahl der über die Störung informierten Verkehrsteilnehmenden wird für den Anwendungsfall S zur Beurteilung der Wirksamkeit einer NBA herangezogen. Wird ergänzend zu der reinen Störungsinformation auch eine Alternativroutenempfehlung ausgewiesen, wird zusätzlich der Anwendungsfall A für den relevanten Zeitbereich betrachtet. Die einzelnen Störungen auf der Normalroute werden sowohl bei Ex-Ante- als auch bei Ex-Post-Untersuchungen über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwei Jahren erfasst und ausgewertet. Hierzu werden Floating Car Data (FCD) genutzt, aus denen die Beschreibung der Störung in Form der resultierenden Verlustzeit erfolgt. Als Mindestdauer für die Betrachtung einer Störung gelten 15 Minuten, da in der Praxis erst ab dieser Zeitdauer über eine NBA eine Reaktion mittels Störungsinformation auf eine Störung selbst erfolgt. Als Mindestverlustzeit einer Störung mit Relevanz für den Anwendungsfall S wird 1 Minute definiert. Die Einfahrenden im ungestörten Zustand der Normalroute repräsentieren das Beeinflussungspotential mit Bezug zum Anwendungsfall S im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr. Für die ermittelten Störungen werden aus dem tageszeitlichen Verlauf des Beeinflussungspotentials des gleichen Wochentages die entsprechenden Werte des betroffenen Verkehrsaufkommens für die einzelne Störung abgeleitet. Bei Ex-Ante-Untersuchungen entsprechen die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden im Sinne des Anwendungsfalls S den beeinflussten Verkehrsteilnehmenden. Für Ex-Post-Untersuchungen können bei Vorliegen einer geeigneten stationären lokalen Datenerfassung als weitere Eingangsgröße die Ausfahrenden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes zusätzlich auf die Alternativroute wechseln, in die Wirksamkeitsanalyse einbezogen werden. Berücksichtigt wird hierbei, dass diese Verkehrsteilnehmenden über eine NBA am Informationsstandort über die Störung informiert werden und deshalb ggf. ihr Routenwahlverhalten ändern. Hierzu werden für den Ohne-Fall (im Sinne von „ohne eine Störung auf Normal- und Alternativroute“) ausfahrende Verkehrsteilnehmende (differenziert nach Pkw und Lkw) herangezogen. Weiterhin werden die Ausfahrenden (differenziert nach Pkw- und Lkw) aus der stationären lokalen Datenerfassung ermittelt, die zum Zeitpunkt der Störung auf die Alternativroute gewechselt haben (Mit-Fall im Sinne von „mit einer Störung auf der Normalroute“). Durch Differenzbildung zwischen den Ergebnissen für den Mit-Fall und den Ohne-Fall kann die Änderung der Anzahl von Ausfahrenden, die am Entscheidungspunkt zusätzlich auf die Alternativroute wechseln, ermittelt werden. Daraus ergeben sich die im Sinne des Anwendungsfalls S beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für Ex-Post-Untersuchungen.

Dem Verfahren im Anwendungsfall A (Verfahrensbeschreibung in Kapitel 5.4.3) liegt die Annahme zugrunde, dass aus einer Alternativroutenempfehlung Zeitvorteile für die der Empfehlung folgenden Verkehrsteilnehmenden gegenüber der Fahrt auf der Normalroute im gestörten Zustand resultieren. Die Summe dieser Zeitvorteile über alle relevanten Verkehrsteilnehmenden im Pkw- und Lkw-Verkehr wird für den Anwendungsfall A zur Beurteilung der verkehrlichen Wirkung einer NBA herangezogen. Auch für den Anwendungsfall A werden die einzelnen Störungen auf der Normalroute sowohl bei Ex-Ante- als auch bei Ex-Post-Untersuchungen über einen zusammenhängenden Zeitraum von zwei Jahren erfasst und ausgewertet. Hierzu werden zur Beurteilung der Störungen ebenfalls FCD genutzt und eine maßgebliche Verlustzeit im Kfz-Verkehr bestimmt. Als Mindestdauer einer Störung gelten auch hier 15 Minuten, da erst ab dieser Zeitdauer in der Praxis eine Reaktion auf eine Störung über eine NBA mittels Alternativroutenempfehlung

erfolgt. Für den Anwendungsfall A werden nur Störungen auf der Normalroute berücksichtigt, die eine Mindestverlustzeit von 10 Minuten überschreiten. Für den ungestörten Zustand der Normalroute stehen Eingangsgrößen für Einfahrende und Durchfahrende, differenziert nach Pkw und Lkw im tageszeitlichen Verlauf an einzelnen Wochentagen, zur Verfügung. Aus dem Verhältnis zwischen den einzelnen Werten für Einfahrende und Durchfahrende ergibt sich das Beeinflussungspotential für den Anwendungsfall A. Für jede einzelne Störung können aus dem tageszeitlichen Verlauf des Beeinflussungspotentials des gleichen Wochentages die entsprechenden Werte der betroffenen Verkehrsteilnehmenden (Pkw und Lkw) ermittelt werden. Weiterhin muss das die Kapazität beschränkende Netzelement auf der Alternativroute analysiert werden. Das hierfür relevante Netzelement wird durch das Entwurfselement in Knotenpunkten oder auf Streckenabschnitten mit der infrastrukturseitig geringsten Kapazität definiert. Für dieses Netzelement wird in den Zeitbereichen, in denen eine Alternativroutenempfehlung vorgesehen ist, das Verkehrsaufkommen im ungestörten Zustand auf Normal- und Alternativroute nach Pkw und Lkw wochentagspezifisch ausgewertet. Unter Berücksichtigung der Kapazität dieses Netzelementes lässt sich dann auch die Restkapazität der Alternativroute (als kritischer Wert im Kapazitätsengpass) ermitteln, wobei hier ein quasi-statischer Verkehrsablauf unterstellt wird. Dazu wird entweder das für das jeweils relevante Entwurfselement geltende Verfahren gemäß Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) [FGSV 2015] herangezogen oder auf Erfahrungswerte der verantwortlichen Niederlassungen der Autobahn GmbH des Bundes bzw. der Straßenbauverwaltungen der Bundesländer zurückgegriffen. Anschließend werden für Ex-Ante-Untersuchungen die beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden im Pkw- bzw. Lkw-Verkehr im Zeitraum der Störung ermittelt, wobei dazu das Aufkommen herangezogen wird, das sich für die Einfahrenden bei ungestörtem Zustand auf der Normalroute einstellt. Für Ex-Post-Untersuchungen werden bei Vorliegen einer geeigneten stationären lokalen Datenerfassung stattdessen als weitere Eingangsgröße die Ausfahrenden, die stromabwärts des Entscheidungspunktes aufgrund der Anzeige der Alternativroutenempfehlung am Informationsstandort ihr Verhalten ändern und auf die Alternativroute wechseln, herangezogen. Hierzu werden für den Ohne-Fall (im Sinne von „ohne eine Störung auf Normal- und Alternativroute“) ausfahrende Verkehrsteilnehmende (differenziert nach Pkw und Lkw) in mit den Störungszeiträumen vergleichbaren Zeiträumen herangezogen, in denen weder auf der Normal- noch auf der Alternativroute eine Störung vorliegt. Weiterhin werden die Ausfahrenden (differenziert nach Pkw- und Lkw) aus der stationären lokalen Datenerfassung ermittelt, die zum Zeitpunkt der Störung auf die Alternativroute gewechselt haben (Mit-Fall im Sinne von „mit einer Störung auf der Normalroute“). Durch Differenzbildung zwischen den Ergebnissen für den Mit-Fall und den Ohne-Fall kann die Änderung der Anzahl von Ausfahrenden, die am Entscheidungspunkt zusätzlich auf die Alternativroute wechseln, ermittelt werden. Somit ergeben sich die im Sinne des Anwendungsfalles A beeinflussten Verkehrsteilnehmenden für Ex-Post-Untersuchungen.

Jedem einzelnen Pkw bzw. Lkw, der im Ergebnis der bisherigen Verfahrensschritte für den Anwendungsfall A im Zeitraum der Störung die Alternativroutenempfehlung befolgen würde, wird der tatsächlich erzielbare Zeitvorteil gegenüber der Fahrt auf der gestörten Normalroute zugeordnet. Als Mindestwert für den Zeitvorteil im Kfz-Verkehr für die Ausweisung einer Alternativroute wird der sich für Pkw ergebende Zeitvorteil mit mehr als 10 Minuten angesetzt. Sofern die Bedingung erfüllt ist, wird über alle Pkw und Lkw, für die die Alternativroute somit attraktiv ist (Ex-Ante) bzw. welche zusätzlich auf die Alternativroute gewechselt haben (Ex-Post), die Summe der Zeitvorteile ermittelt. Die Restkapazität im Kapazitätsengpass wird dem durch die Alternativroutenempfehlung in diesem Netzelement zusätzlich auftretenden Verkehrsaufkommen gegenübergestellt. Sofern das zusätzliche Verkehrsaufkommen an dieser Stelle noch leistungsfähig abgewickelt werden kann, schränkt dieses Ergebnis die Alternativroutenempfehlung nicht ein. Falls die Restkapazität überschritten wird, wird auf die Ausweisung der Alternativroute verzichtet, so dass in diesen Zeiträumen keine Verbesserung durch Ausweisung einer Alternativroute und Verlagerung von Verkehrsaufkommen auf die Alternativroute erfolgen kann. Gleiches gilt auch, wenn aufgrund einer Störung auf der Normalroute die Ausweisung einer Alternativroutenempfehlung geboten wäre, aber auf der Alternativroute selbst eine Störung existiert. Hierin unterscheidet sich die Vorgehensweise bei Ex-Ante- und Ex-Post-Untersuchungen nicht. Bei Ex-Post-Untersuchungen würde in diesem Verfahrensschritt zusätzlich geprüft werden, ob die Restkapazität überschritten wurde oder nicht.

Mit dem entwickelten Wirksamkeitsanalyseverfahren können die verkehrlichen Wirkungen einer NBA dargestellt werden. Im Anwendungsfall S erfolgt dies durch die Ausweisung von beeinflussten (also informierten) Verkehrsteilnehmenden. In Anwendungsfall A werden die Zeitvorteile für die tatsächlich beeinflussten Verkehrsteilnehmenden (Pkw und Lkw) ausgewiesen. Der Nutzen der NBA aus diesem Anwendungsfall A kann auf der Basis von Zeitvorteilen unter Verwendung von Zeitkostensätzen ermittelt werden. Hierfür kön-

nen vorhandene Ansätze zur Ermittlung volkswirtschaftlicher Kosten durch Zeitverluste im Verkehr angesetzt werden. In gleicher Weise lassen sich wie im bestehenden Verfahren gemäß FGSV-Heft 311 Veränderungen in den Fahrzeugbetriebskosten aus den Zeitvorteilen ableiten. Für den Anwendungsfall S fehlen bisher Kostensätze für die Information, so dass ein Nutzen derzeit noch nicht ausgewiesen werden kann.

Neben den Verfahren zur Wirksamkeitsanalyse wird ein methodischer Ansatz zur Strategiedefinition für Netzbeeinflussungsanlagen in Kapitel 6 erarbeitet, der auf den identischen Prinzipien der Störungsbeurteilung aufbaut. Als Basis der Strategiedefinition werden ausgehend von den Entscheidungspunkten im Autobahnnetz (AK / AD) Einflussbereiche definiert sowie relevante Fernziele zur Alternativroutenempfehlung unter Berücksichtigung der bestehenden statischen Wegweisung (sogenannte „Blaubeschilderung“) festgelegt. Unter Verwendung der Informationen zur Lage (betroffene Streckenabschnitte) und zum Umfang (Verlustzeit in der Störung bzw. Staulänge) werden Auslösekriterien beschrieben, die für die Anzeige einer Störungsinformation (Anwendungsfall S) bzw. einer Alternativroutenempfehlung (Anwendungsfall A) herangezogen werden. Zusätzlich werden Kriterien beschrieben, die für eine Priorisierung von Störungen verwendet werden können, wenn gleichzeitig mehrere Störungen im relevanten Einflussbereich vorliegen oder mehrere Alternativrouten zur Auswahl stehen. Für Netzbereiche mit mehreren NBA werden Hinweise gegeben, wie bei Überlagerungen von Schaltstrategien (gleichzeitige Nutzung von Streckenabschnitten für unterschiedliche Alternativrouten) vorzugehen ist.

Im Rahmen einer beispielhaften Praxisanwendung (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wurde dargestellt, ob die im Verfahren beschriebenen Bearbeitungsschritte und notwendigen Daten geeignet sind und welcher Aufwand erforderlich ist, um Ergebnisse zu erzielen. Zur Überprüfung der Praxistauglichkeit der beschriebenen Vorgehensweisen zur Wirksamkeitsanalyse von Netzbeeinflussungsmaßnahmen sowie zur Entwicklung von Steuerungsstrategien in der Netzbeeinflussung wurden hierzu Störungs- und Verkehrsdaten als Eingangsdaten für ein Testfeld im nordrhein-westfälischen Autobahnnetz genutzt. Mit der Praxisanwendung konnte die Anwendbarkeit des Strategieplanungsverfahrens anhand eines Untersuchungszeitraumes von einem Monat sowie das Wirksamkeitsverfahren anhand einer Woche (als vereinfachte Variante der im Verfahren als notwendig angesehenen Analyse der Störungen über einen Zeitraum von zwei Jahren) für die Betrachtung einzelner Netzmaschen bzw. Standorte innerhalb des Untersuchungsgebietes diskutiert werden. Für die Anwendung des Verfahrens sind umfangreiche Datengrundlagen zu analysieren, wobei die folgenden Aspekte berücksichtigt werden sollten:

- Für eine barrierefreie Übernahme von Eingangsdaten in das Verfahren sollte bei FCD eine standardisierte Datenaufbereitung unter Beachtung der verfahrensseitigen Anforderungen angestrebt werden.
- Die Bestände von Verkehrs-, Schaltungs- und Störungsdaten sollten kontinuierlich gesammelt und in einer bundesweit einheitlichen Datenhaltung vollständig und mit hoher Güte dauerhaft verfügbar gehalten werden.
- Für einen breiteren Einsatz des Verfahrens wird seine Umsetzung in einem Software-Tool mit dem Ziel der Automatisierung und der direkten Übernahmefähigkeit von notwendigen Eingangsdaten empfohlen.
- Für die projektspezifischen Ergebnisse aus den Verfahrensanwendungen sollte eine zentrale Wissensbasis etabliert werden, um die Grundlage für eine weitere Anpassung und Ergänzung des Verfahrens zu schaffen.

Diese Randbedingungen waren im Rahmen des Forschungsprojektes nur bedingt gegeben. Aus diesem Grund konnte keine umfängliche Analyse der Verfahrensanwendung über den vorgesehenen Zeitraum von zwei Jahren durchgeführt werden.

Um eine maximale Beeinflussungswirkung bei den Verkehrsteilnehmenden hervorzurufen, ist anzustreben, dass die über kollektive und individuelle Informationsquellen verbreiteten Informationen konsistent und widerspruchsfrei sind. Um die Wirkung des Anwendungsfall S ebenfalls in die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) integrieren zu können, ist ein Kostensatz für einen informierten Verkehrsteilnehmenden festzulegen bzw. zu ermitteln. Die Ergebnisse der verkehrlichen Wirkungen im Anwendungsfall A können auch für die Ermittlung weiterer Wirkungskomponenten (Änderung der Lärmemissionen, der Schadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs) herangezogen werden. Hierzu sind jedoch weitere Eingangsgrößen erforderlich.

Kapitel 8 enthält Empfehlungen und Hinweise, wie mit den gewonnenen Erkenntnissen weitergehend umgegangen werden sollte. Die im Forschungsvorhaben entwickelte Herangehensweise einer gemeinsamen Betrachtung der Entwicklung von Steuerungsstrategien, der operativen Umsetzung und der Wirksamkeitsbeurteilung sollte in den entsprechenden FGSV-Regelwerken ergänzt werden kann. Das entwickelte Verfahren sollte im in Bearbeitung befindlichen Hinweispapier des FGSV-Arbeitskreises 3.2.11 "Verkehrliche und organisatorische Anforderungen für Netzbeeinflussungsanlagen" Berücksichtigung finden.

Literatur

- ARNOLD, M. (2001): *Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer befristeten Umnutzung des Standstreifens für Zwecke des fließenden Verkehrs*. Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Heft 820, Bonn
- BALMBERGER, M.; MAIBACH, W.; SCHÜLLER, H.; DAHL, A., SCHÄFER, T. (2014): *Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 243, Bergisch Gladbach
- BAUM, H.; KRANZ, T. (2012): *Zeitbewertung in ökonomischen Planungsrechnungen*. Anhang zum Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.440/2008/AGB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 293, Bergisch Gladbach
- BÄUMER, H. (2002): *Einsatzkriterien für Nothaltemöglichkeiten an ein- und zweibahnigen Straßen*. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen an der Ruhr-Universität Bochum, Heft 26, Bochum
- BASt (2018): *Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen MARZ 2018*. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach
- BECKMANN, K.; BECKMANN, B.; WEHMEIER, T.; DÜSTERWALD, M. (2001): *Verkehrstechnische Effekte kollektiver und individueller Zielführung*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW), Heft 815, Bonn
- BECKMANN, K.; SERWILL, D.; WEHRMEIER, T. (2001): *Aspekte zum Zusammenwirken von Zielführungssystemen und Netzbeeinflussungsanlagen*. Straßenverkehrstechnik, 45. Jg., Heft 4, S. 168-177
- BECKROTH, K.; ANSORGE, J.; MOHR, S.; JAKOBY, R. (2010): *VODAMS – Offline-ISM-Komponente zur Definition, Optimierung und Validierung von Verkehrsmanagementstrategien und Ad-hoc-Maßnahmen zur Entscheidungsunterstützung in Verkehrszentralen*. Schlussbericht, Wiesbaden; Aachen; Bernburg
- BMV (1997a): *Richtlinien für Wechselverkehrszeichen - RWVZ*. Bundesministerium für Verkehr. Verkehrsblatt - Dokument Nr. B 6738, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund
- BMV (1997b): *Richtlinien für Wechselverkehrszeichenanlagen - RWVA*. Bundesministerium für Verkehr. Verkehrsblatt - Dokument Nr. B 6740, Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund
- BMVBS (2012): *Muster-RE-Entwurf für Verkehrsbeeinflussungsanlagen – Ausgabe 2012*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Bonn
- BOLTE, F.; REICHEL, P.; SIEGENER, W.; SPIES, G.; ZACKOR, H.; ZIEGLER, M. (1983): *Substitutive oder additive Wechselwegweisung – ein Systemvergleich*. Straße und Autobahn, 34 Jg., Heft 3, S. 91-97
- BREITENSTEIN, J.; HEIDEMANN, D.; KELLER, H.; LEICHTER, K.; LENZ, K.-H.; SCHULZE W.; ZACKOR, H. (1980): *Fahrzeugpuls und Verkehrsstau*. Straßenverkehrstechnik, 24 Jg., Heft 1, S. 16-26
- BRILON, W.; ZURLINDEN, H. (2003): *Überlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterium für Straßenverkehrsanlagen*, Schriftenreihe Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des BMVBW, Heft 870, Bonn
- BUSCH, F.; GROŠANIĆ, S.; DINKEL, A.; SCHIEFERSTEIN, A.; STADLER, M. (2009): *Begleitforschung und Ergänzung des Merkblatts 'Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen'*. Endbericht zum Forschungsprojekt FE 03.425/2007/IGB, München
- BUSCH, F.; FRIEDRICH, M.; SCHILLER, C.; BAKIRCIOGLU, I.; BELZNER, H.; FIEDLER, I.; KOLLERMATSCHKE, I.; MANDIER, E.; PILLAT, J.; RIESS, S.; SNETHLAGE, M.; WINKLER, C.; ZIMMERMANN, F. (2012 a): *Wirkungen individueller und kollektiver Verkehrsinformation in Straßennetzen – Teil 1: Problemstellung und Erhebungsmethodik*. Straßenverkehrstechnik, 56. Jg., Heft 10, S. 625-630
- BUSCH, F.; FRIEDRICH, M.; SCHILLER, C.; BAKIRCIOGLU, I.; BELZNER, H.; FIEDLER, I.; KOLLERMATSCHKE, I.; MANDIER, E.; PILLAT, J.;

- RIESS, S.; SNETHLAGE, M.; WINKLER, C.; ZIMMERMANN, F. (2012 b): *Wirkungen individueller und kollektiver Verkehrsinformation in Straßennetzen – Teil 2: Analysen und Ergebnisse*. Straßenverkehrstechnik, 56. Jg., Heft 11, S. 719-727
- CINDRIC-MIDDENDORF, D.; LISTL, G.; RIEGELHUTH, G.; SINGER, T. (2015): *Mobilitätsslots im Straßennetz*. Straßenverkehrstechnik, 59. Jg., Heft 8, S. 523-529
- EASYWAY (2012 a): *Informations- und Kommunikationstechnologien: EasyWay Betriebsumfelder, Einsatzempfehlung*. ICT-DG01, 2012
- EASYWAY (2012 b): *Verkehrsmanagementdienste: Verkehrsmanagement von Korridoren und Netzen, Einsatzempfehlung*. TMS-DG07, 2012
- EVERTS, K.; ZACKOR, H.; STEIERWALD, G. (1976): *Untersuchung von Steuerungsmodellen zur Verkehrsstromführung mit Hilfe von Wechselwegweisern*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Heft 199, Bonn-Bad Godesberg
- EVERTS, K.; ALBRECHT, H.; HEUSCH, H.; BOESEFELDT, J. (1978): *Steuerungsmodell zur Verkehrsstromführung durch Wechselwegweisung sowie Bewertung einer zentralen Überwachung und Steuerung*. Forschung Straßenbau- und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Heft 251, Bonn-Bad Godesberg
- FGSV (1982): *Richtlinien zur Anlage von Straßen – Teil Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 132, Köln
- FGSV (1992): *Hinweise für Steuerungsmodelle von Wechselverkehrszeichenanlagen auf Außerortsstraßen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 359, Köln
- FGSV (1997): *Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen - EWS*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 132, Köln
- FGSV (2001): *Richtlinien für die wegweisende Beschilderung auf Autobahnen - RWBA*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 329/2, Köln
- FGSV (2003 a): *Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen - ESN*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 383, Köln
- FGSV (2003 b): *Hinweise zur Strategieentwicklung im dynamischen Verkehrsmanagement*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 381, Köln
- FGSV (2007): *Hinweise zur Wirksamkeitsschätzung und Wirksamkeitsberechnung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 311, Köln
- FGSV (2008 a): *Hinweise zu Planung und Betrieb von betreiberübergreifenden Netzsteuerungen in der Verkehrsbeeinflussung*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 310, Köln
- FGSV (2008 b): *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung – RIN*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 121, Köln
- FGSV (2011): *Hinweise zur Strategieanwendung im dynamischen Verkehrsmanagement*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 381/1, Köln
- FGSV (2012 a): *Hinweise zum Einsatz von Steuerungsverfahren in der Verkehrsbeeinflussung*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 304/1, Köln
- FGSV (2012 b): *Hinweise zur Evaluation verkehrsbezogener Maßnahmen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 157, Köln
- FGSV (2012 c): *Hinweise zur Verkehrsprognose in straßenverkehrstechnischen Anwendungen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 382/1, Köln
- FGSV (2015): *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 299, Köln
- FGSV (2019): *Merkblatt Detektionstechnologien*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 312, Köln
- FGSV (2020): *Begriffsbestimmung für das Straßen- und Verkehrswesen BBSV*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 220, Köln
- GEISTEFELDT, J.; HOHMANN, S.; ESTEL, A. (2017): *Ermittlung der geeigneten Verkehrs nachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.440/2008/AGB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 293, Bergisch Gladbach

- GEIß, H.; KELLER, K.; POLLMANN, P.; ZACKOR, H. (1983 a): *Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Verkehrsleitsystemen*. Straßenverkehrstechnik, 27. Jg., Heft 2, S. 37-42
- GEIß, H.; KELLER, K.; POLLMANN, P.; ZACKOR, H. (1983 b): *Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Verkehrsleitsystemen*. Straßenverkehrstechnik, 27. Jg., Heft 3, S. 87-92
- GEIß, H.; KELLER, K.; POLLMANN, P.; ZACKOR, H. (1983 c): *Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Verkehrsleitsystemen*. Straßenverkehrstechnik, 27. Jg., Heft 5, S. 164-168
- GERSTENBERGER, M.; KLEMENTZ, S. (2018): *Konzeption eines einheitlichen Strategiemagements als Grundlage für die Netzsteuerung auf Autobahnen in Nordrhein-Westfalen*. Ergebnisbericht, München
- GRAHL, S.; SANDER, G. (2007): *Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.481/2005, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 162, Bergisch Gladbach
- HAMPE, H.; KELLER, H.; MÜLLER, W. (1981): *Bewertung von Verkehrsleitsystemen, Nutzen-Kosten-Untersuchungen für die Wechselwegweisung Rhein/Main*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Heft 348, Bonn-Bad Godesberg
- HARTZ, B.; SCHMIDT, M. (2004): *Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)*. Straßenverkehrstechnik, 48 Jg., Heft 12, S. 641-645
- HARTZ, B.; SCHMIDT, M. (2005): *Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen (dWiSta)*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heft 924, Bonn
- HEINRICH, T.; POLLESCH, I.; SCHÖBER, C.; STAMATAKIS, I.; GRZEBELLUS, M.; RADIKE, N.; SCHNEIDER, O.; STAPELFELD, M.; HUBER, G. (2018): *Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.0505/2012/IRB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft F 124, Bergisch Gladbach
- HÜLSEMANN, U.; KREMS, J.; HENNING, M.; THIENER, U. (2009): *Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reiseinformationen*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.392/2005/IGB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 181, Bergisch Gladbach
- JAKOBY, R.; BECKROTH, K. (2010): *Long Distance Corridor Demonstration Project (LDC) – Erste Anwendung und Bewertung von länderübergreifenden Netzsteuerungsstrategien*. Straßenverkehrstechnik, 54. Jg., Heft 2, S. 72-78
- KOCHS, A.; KIRSCHFINK, H. (2006): *Nutzung verteilter Systeme zum Aufbau einer Verkehrsdateninfrastruktur für das strategische Verkehrsmanagement – Teil 2: Zuständigkeitsübergreifendes Strategiemangement*. Straßenverkehrstechnik, 50. Jg., Heft 7, S. 401-408
- KÖLLE, M.; LISTL, G.; GERSTENBERGER, M. (2015): *Leitfaden zur flächendeckenden Erfassung verkehrsrelevanter online Daten und Ereignisse durch die öffentliche Hand*. Endbericht zum Forschungsprojekt FE 03.482/2011/KRB, München
- LIGHTHILL, M.J.; WHITHAM, G.B. (1955): *On Kinematic Waves, A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads*, Proceedings of the Royal Society, 229a, London
- LISTL, G.; DELLNER, S.; MARGREITER, M.; SPANGLER, M. (2019): *Empfehlungen für den Einsatz von Bluetooth-Scannern auf BAB zur Reisezeitermittlung und Störfallerkennung*. Ergebnisbericht, München
- LISTL, G.; LÜTTICKE, A.; GERSTENBERGER, M.; SPANGLER, M. (2015): *Verfügbarkeit von Fahrbeziehungen unter besonderer Gewichtung der Autobahnen und von Alternativrouten im strategischen Netz*. Schlussbericht zum FGSV-Forschungsthema Nr. 03-2011, München
- LISTL, G.; OTTO, J. C.; ZACKOR, H. (2004): *Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt); Heft V161, Bergisch Gladbach
- MARZ (2018): *Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen (MARZ 2018)*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- MEISSNER, M.; HULMAK, M.; SNIZEK, S. (2010): *Re-routing im österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetz*, Straßenverkehrstechnik, 54 Jg., Heft 1, S. 20-25

- NEMOBFSTR (2021): *Netzmodell für die Bundesfernstraßenplanung - NEMOBFStr*, Ingenieurgruppe IVV und SSP Consult, Beratende Ingenieure im Auftrag des BMVI, 1993 – 2021, Aachen – Köln
- OBER-SUNDERMEIER, A. (2003): *Entwicklung eines Verfahrens zur Stauprognose an Engpässen auf Autobahnen unter besonderer Berücksichtigung von Arbeitsstellen*, Schriftenreihe Verkehr der Universität Kassel, Heft 15, Kassel
- PÖPPEL-DECKER, M.; SCHEPERS, A.; KOßMANN, I. (2003): *Grundlagen streckenbezogener Unfallanalysen auf Bundesautobahnen*. Bericht zum Forschungsprojekt 00423, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft M 153, Bergisch Gladbach
- RANK, A. (2018): *Wirkungen und Akzeptanz von Wechselwegweisungen – Verfahrensentwicklung anhand der Netzmasche A3-A7-A6*, Masterthesis, Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität München, München
- ROSE, M.; ESTEL, A. (2021): *Entwicklung einer regelbasierten NBA für NRW mit Nutzung von FCD-Reisezeiten*, HEUREKA'21 - Optimierung in Verkehr und Transport, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Nr. 002/127, Köln
- RIEGELHUTH, G. (2009): *Länderübergreifende Verkehrssteuerung in Autobahnkorridoren*. Straßenverkehrstechnik, 53. Jg., Heft 7, S. 442-448
- RIEGELHUTH, G.; KIRSCHFINK, H.; DÖLGER, R.; STÜBEN, G.; BOHLANDER, F. (2010): *Technische Grundlagen des ISM-basierten Korridormanagement und erste Anwendungserfahrungen*. Straßenverkehrstechnik, 54. Jg., Heft 8, S. 484-489
- RIEKEN, P.; TROSKY, F.; GOLDMANN, K.; MANN, H.-U.; POHL, M.; NAGEL, K.; BECKERS, T.; LIEDTKE, G.; WINTER, M.; KICKHÖFER, B. (2015): *Grundsätzliche Überprüfung und Weiterentwicklung der Nutzen-Kosten-Analyse im Bewertungsverfahren der Bundesverkehrswegeplanung*. Endbericht zum Forschungsprojekt FE 960974/2011, Essen; Berlin; München
- SIEGENER, W.; TRÄGER, K.; FÄRBER, B.; FÄRBER, B. (2005): *Dynamische Verkehrsinformationstafeln*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heft 916, Bonn
- TRAPP, R.; FELDGES, M. (2009): *Ermittlung der Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen*. Straßenverkehrstechnik, 53. Jg., Heft 6, S. 375-379
- V. D. RUHREN, S.; KIRSCHFINK, H.; ANSORGE, J.; REUSSWIG, A.; RIEGELHUTH, G.; KARINA-WEDRICH, T.; SCHOPF, H. J.; SPARMANN, J.; WÖBEBEKING, B. (2015): *Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.0484/2011/IRB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft F 108, Bergisch Gladbach
- WERMUTH, M.; WULFF, S. (2007): *Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen*. Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.474/2003, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 169, Bergisch Gladbach
- ZACKOR, H. (1999): *Informationsstrategien für Telematikanwendungen im Straßenverkehr*. Straßenverkehrstechnik, 43. Jg., Heft 4, S. 153-158
- ZACKOR, H. (2001): *Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heft 808, Bonn
- ZACKOR, H.; BALZ, W.; PISCHNER, T. (1985): *Quantifizierung der Wirkungskomponenten von Verkehrsbeeinflussungssystemen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Bundesministerium für Verkehr, Heft 434, Bonn-Bad Godesberg
- ZACKOR, H.; BECKMANN, A.; LISTL, G. (2000): *Verkehrsbeeinflussung durch Verkehrsinformationstafeln mit Wechseltexanzeige*, Projektbericht, Kassel

Tabellen

Tab. 2-1	Befolgungsgrade bei NBA.....	32
Tab. 2-2	Ergebnisse Wirksamkeit LDC West und Süd	35
Tab. 2-3	Ergebnisse Wirksamkeitsuntersuchung von Störungsinformationsanzeigen in BAB-Netz Nordrhein-Westfalens	36
Tab. 4-1	Betriebsumfelder für europäische IVS-Kerndienste.....	57
Tab. 4-2	Kriterienkatalog zur Definition fahrtzweckspezifischer Netze	58
Tab. 5-1	Zeitkostensätze in €/Fahrzeugstunde	80
Tab. 5-2	verwendete Zeitkostensätze im Wirksamkeitsanalyseverfahren	80
Tab. 5-3	Anzusetzende durchschnittliche unbeeinflusste Fahrtgeschwindigkeiten für Pkw und Lkw auf Normal- und Alternativroute bei fehlender Datenerfassung	82
Tab. 5-4	Differenzierung des Befolgungsgrades für den Anwendungsfall S	84
Tab. 5-5	Fortbewegungsgeschwindigkeiten im Störungsbereich.....	86
Tab. 5-6	Differenzierung des Befolgungsgrades für den Anwendungsfall A	87
Tab. 5-7	Zusätzliche Minderung des Verkehrsaufkommens durch Informationen aus anderen Quellen nach Störungstyp.....	88
Tab. 5-8	Kapazitätsreduktion nach Störungstyp	89
Tab. 5-9	Zeitvorteil durch Minderung des Verkehrsaufkommens je nach Störungstyp (je km der Störungsstrecke).....	89
Tab. 6-1	Anzeige von Störungen im Netz	104
Tab. 7-1	Datenstruktur der für die Beispielanwendung aufbereitete FCD-Informationen	113
Tab. 7-2	Verhältnissfaktoren zur Umrechnung der DTV-Verkehrsmodellwerte für die Anwendung Wirksamkeitsanalyseverfahrens für einzelne Wochentage	114
Tab. 7-3	Anzahl gestörter 15 Minuten-Intervalle in den Netzmaschen 1 bis 5 (aus FCD- Informationen).....	119
Tab. 7-4	Anzeigehalte am Informationsstandort „Ob-W_42_O“ in Netzmasche 1.....	120
Tab. 7-5	Anzeigehalte am Informationsstandort „Ob-W_3_N“ in Netzmasche 2.....	121
Tab. 7-6	Anzeigehalte an den Informationsstandorten „Kai_40_O“ und „Kai_3_N“ in Netzmasche 3 bzw. 4.....	121
Tab. 7-7	Anzeigehalte am Informationsstandort „Bo_43_N“ in Netzmasche 5.....	121
Tab. 7-8	Störungsbeschreibung des Beispiels der Praxisanwendung.....	128
Tab. 7-9	Ergebnis der Praxisanwendung für Anwendungsfall S am Beispiel einer Störung	130
Tab. 7-10	Ergebnis der Praxisanwendung für Anwendungsfall A am Beispiel einer Störung	132
Tab. 7-11	Störungen mit Anzeige an der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ in KW 43 / 2019 für die Ex- Post-Betrachtung	132
Tab. 7-12	Übersicht der Anzahl der Störungen für Anwendungsfall S und A in KW 43 / 2019	133
Tab. 7-13	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende am Standort der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 / 2019 im Anwendungsfall S	134
Tab. 7-14	Beeinflusste Verkehrsteilnehmende und Zeitvorteil am Standort der dWiSta-Anzeige „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 / 2019 im Anwendungsfall A..	134
Tab. 7-15	Verkehrlicher Nutzen des NBA-Standortes „Ob-W_3_N“ innerhalb der Netzmaschen 1 und 2 in KW 43 / 2019	134

Bilder

Bild 2-1	Übersicht der strategischen Punkte / Ziele einer Netzbeeinflussung (oben) und bestehende Blaubeschilderung am Beispiel des AK Meerbusch auf der A57 in Fahrtrichtung Süden)	27
Bild 2-2	Befolgungsgrade am AK Biebelried	36
Bild 4-1	Zusammenhänge der Einflussgrößen zur Bestimmung von Beeinflussungspotential und Befolgungsgrad	61
Bild 5-1	Länge der Netzabschnitte zwischen AK / AD	65
Bild 5-2	Länge der Netzabschnitte zwischen AK / AD, kumulativ	66
Bild 5-3	Beispiele für Netzabschnitte mit hoher AS-Anzahl (links) und Anzahl der AS auf Netzabschnitten zwischen AK / AD (rechts)	67
Bild 5-4	Durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte zwischen Anschlussstellen	67
Bild 5-5	Durchschnittliche Länge der Streckenabschnitte zwischen Anschlussstellen, kumulativ	68
Bild 5-6	Zusammenhang zwischen der Anzahl der AS und Abschnittlänge zwischen AD / AK	68
Bild 5-7	Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Länge von Streckenabschnitten zwischen Anschlussstellen und Netzabschnittslängen zwischen AD / AK	69
Bild 5-8	Überblick der Begrifflichkeiten relevanter Gruppen von Verkehrsteilnehmenden für die Wirksamkeitsanalyse	70
Bild 5-9	Übersicht des umfassenden Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall S	71
Bild 5-10	Übersicht des umfassenden Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall A	72
Bild 5-11	Übersicht des vereinfachten Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall S	76
Bild 5-12	Übersicht des vereinfachten Verfahrensablaufs zur Wirksamkeitsanalyse im Anwendungsfall A	77
Bild 6-1	Reihenfolge der Netzabschnitte im Beeinflussungsbereich für die Netzbeeinflussung	102
Bild 6-2	Beispielnetz zur Darstellung der Strategiedefinition	103
Bild 6-3	Beispiel zur Strategiedefinition einer Alternativroutenempfehlung für eine Störung	106
Bild 6-4	Beispiel einer Alternativroutenempfehlung für mehrere Strategien	107
Bild 7-1	Lage von Entscheidungs- und Endpunkten betrachteter Netzmaschen zur Beispielanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens im Autobahnnetz NRW	109
Bild 7-2	Netzmaschen zur Anwendung des Strategieplanungsvorgehens im Untersuchungsgebiet	111
Bild 7-3	Verfügbarkeit der Rampen-Verkehrsstärken im Untersuchungszeitraum Oktober 2019 im Untersuchungsgebiet	111
Bild 7-4	Anzahl relevanter gestörter 15 Minuten-Intervalle im Untersuchungszeitraum Oktober 2019 in betrachteter Fahrtrichtung im Untersuchungsgebiet	115
Bild 7-5	Gesamtstörungsdauer [h] auf den Normal- und Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019	115
Bild 7-6	Verteilung der Störungsdauer [h] je Wochentag auf den Normalrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019	116
Bild 7-7	Verteilung der Störungsdauer [h] je Wochentag auf den Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019	116
Bild 7-8	Verteilung der Störungsdauer [h] je Tageszeit auf den Normalrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019	117
Bild 7-9	Verteilung der Störungsdauer [h] je Tageszeit auf den Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019	117
Bild 7-10	Verteilung der zeitlichen Überlagerung von Störungen auf den Normal- und Alternativrouten der betrachteten Netzmaschen im Untersuchungszeitraum Oktober 2019	118

Bild 7-11	Schematische und vereinfachte Darstellung der Vorgehensweise in der Praxisanwendung.....	123
Bild 7-12	Netzmasche für Beispielanwendung mit Informationsstandort (dWiSta-Anzeige), Entscheidungspunkt und Endpunkt	125
Bild 7-13	Position der Messquerschnitte am Entscheidungspunkt (links) und des Messquerschnitts am verwendeten Kapazitätsengpass auf der Alternativroute für die Beispielanwendung	126
Bild 7-14	Lage der Störung für die Beispielanwendung einer vorhandenen Störung	127
Bild 7-15	Verkehrsstärkeganglinie des Messquerschnitts MQ_3.042_HFB_NO – Störungstag und Vergleichstag für die Beispielanwendung	129
Bild 7-16	Beeinflussungspotenzial und beeinflussbaren Verkehrsteilnehmende für die Beispielanwendung	130

Anlagen

- Anlage 1** **Übersicht der Netzbeeinflussungsanalgen im Zuständigkeitsbereich der interviewten Experten in der Straßenbauverwaltung der Bundesländer**
- Anlage 2** **Verfahrensvorschrift Wirksamkeitsanalyse NBA**
- Anlage 3** **Verkehrsbelastung aus den Netzspinnen des Netzmodells für die Bundesfernstraßenplanung (NEMOBFStr) zur Praxisanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahrens**

Anlage 1 Übersicht der Netzbeeinflussungsanlagen im Zuständigkeitsbereich der interviewten Experten in der Straßenbauverwaltung der Bundesländer

Die Darstellungen der folgenden Netzbeeinflussungsanlagen (NBA) basieren auf den Informationen der interviewten Experten der Straßenbauverwaltungen der folgenden Bundesländer:

- Baden-Württemberg
- Bayern (getrennt für Nordbayern und Südbayern)
- Hansestadt Bremen
- Hessen
- Freie und Hansestadt Hamburg
- Nordrhein-Westfalen
- Rheinland-Pfalz
- Schleswig-Holstein
- Thüringen

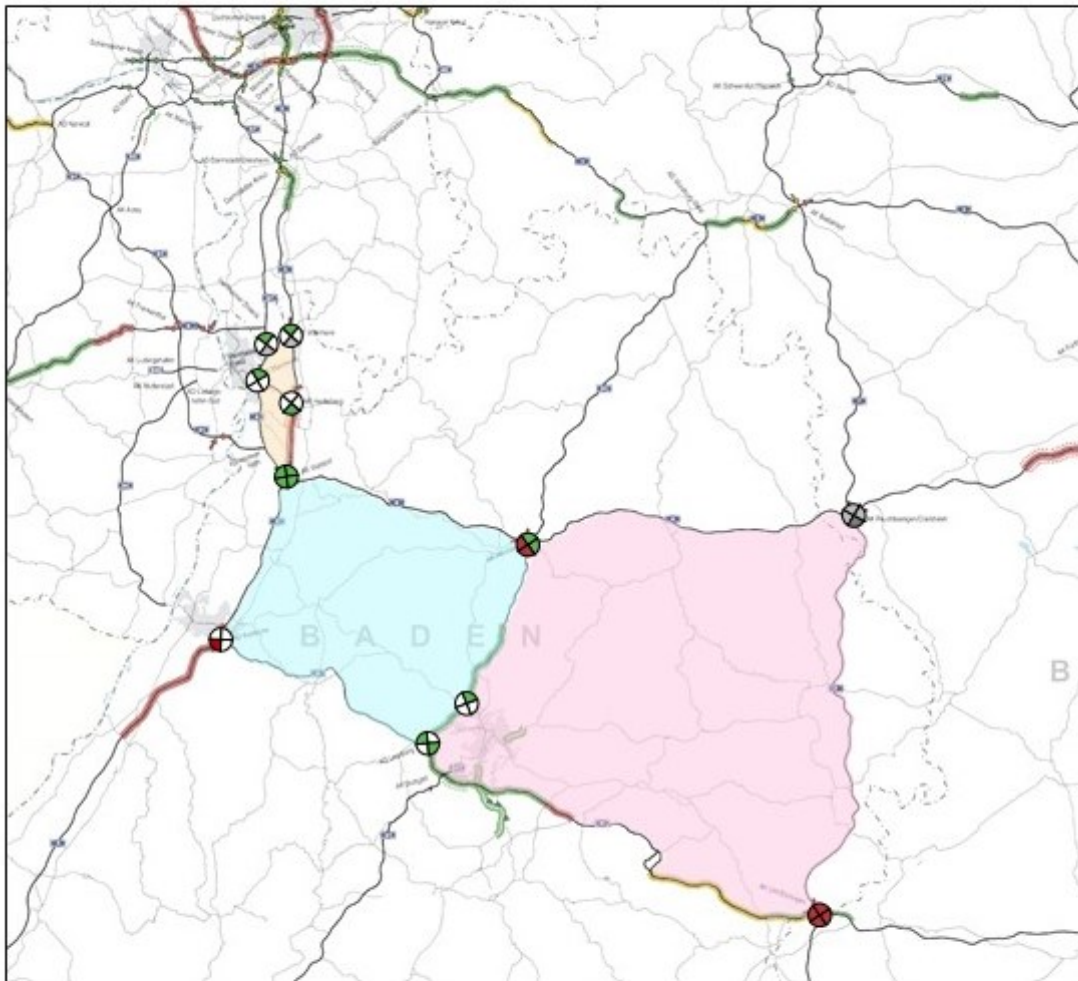
Soweit Informationen vorhanden, wurden die Einflussbereiche der einzelnen NBA farbig hervorgehoben. Als Hintergrund wurde die kartografische Darstellung der bestehenden und geplanten Verkehrsbeeinflussungsanlagen des „Projektplan Straßenverkehrstelematik 2015“ verwendet.

Die Kartengrundlage ist auf der Website der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) unter folgendem Link zu finden:








https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Verkehrstechnik/Downloads/V5-Projektplan-Karte.jpg?_blob=publicationFile&v=7

Anlage 1, Blatt 2

NBA im Bereich Baden-Württemberg



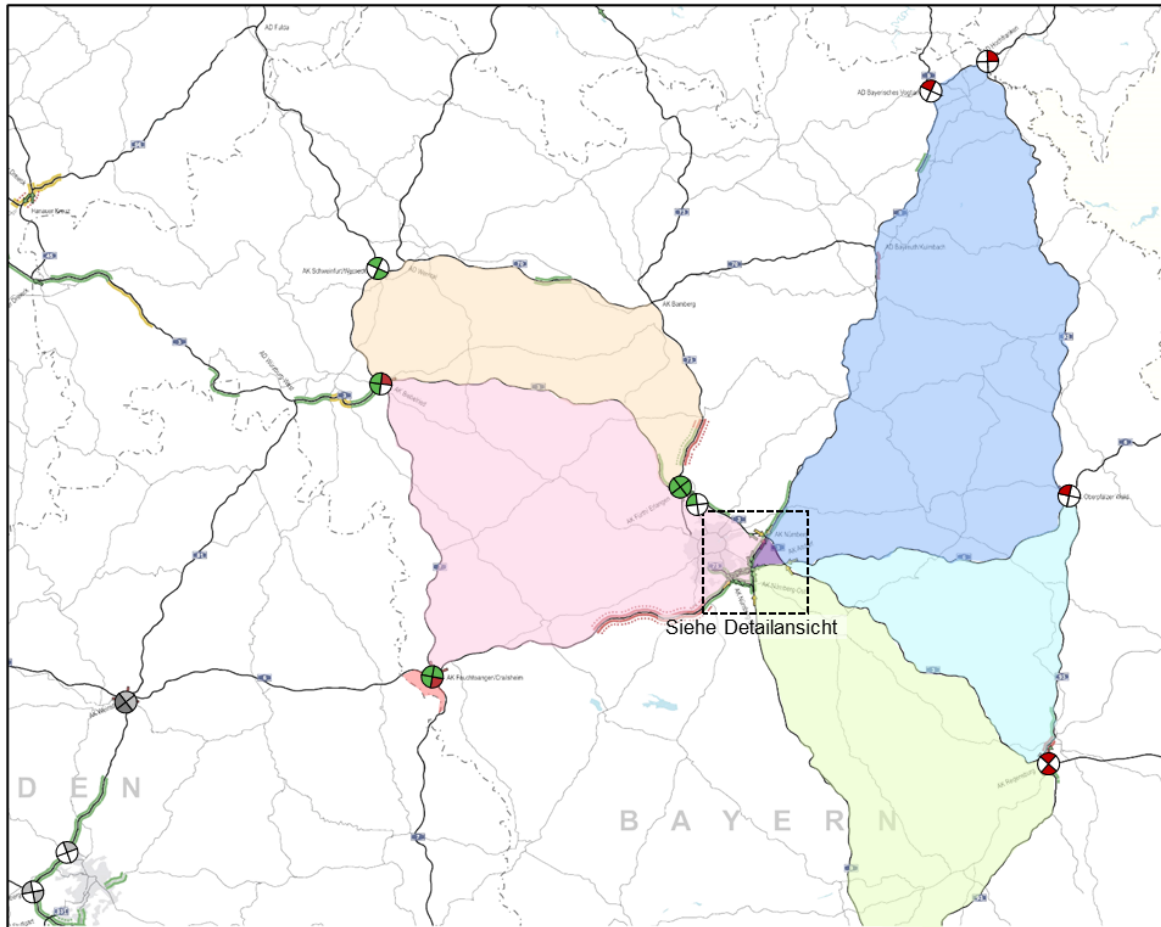
Legende:

-  NBA Walldorf - Karlsruhe - Leonberg - Weinsberg A5/A6 → A8/A81
-  NBA Rhein-Neckar A5 → A6/A659 (Baden-Württemberg / Rheinland-Pfalz / Hessen)
-  NBA Weinsberg - Ulm/Elchingen A8/A81 → A6/A7
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern in Planung (Stand 2020)












Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC West und im LDC Süd verwendet

NBA im Umfeld von Nürnberg in Bayern Nord



Legende:

-  NBA Nürnberg - Holledau - Regensburg A3 → A9/A93 (dNet Bayern)
-  NBA Oberpfalz A3 → A6/A93 (dNet Bayern)
-  NBA Oberfranken A9 → A72/A93/A6 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg - Schweinfurt A3/A7 → A70/A73 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg - Würzburg A3/A9 → A6/A7/A73 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg-Ost A9 → A3/A6 (dNet Bayern)
-  NBA Walldorf - Karlsruhe - Leonberg - Weinsberg A5/A6 → A8/A81 (Baden-Württemberg)
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern in Planung (Stand 2020)

Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Süd verwendet

Anlage 1, Blatt 4

NBA im Bereich Nürnberg Stadt (Ausschnitt) in Bayern Nord



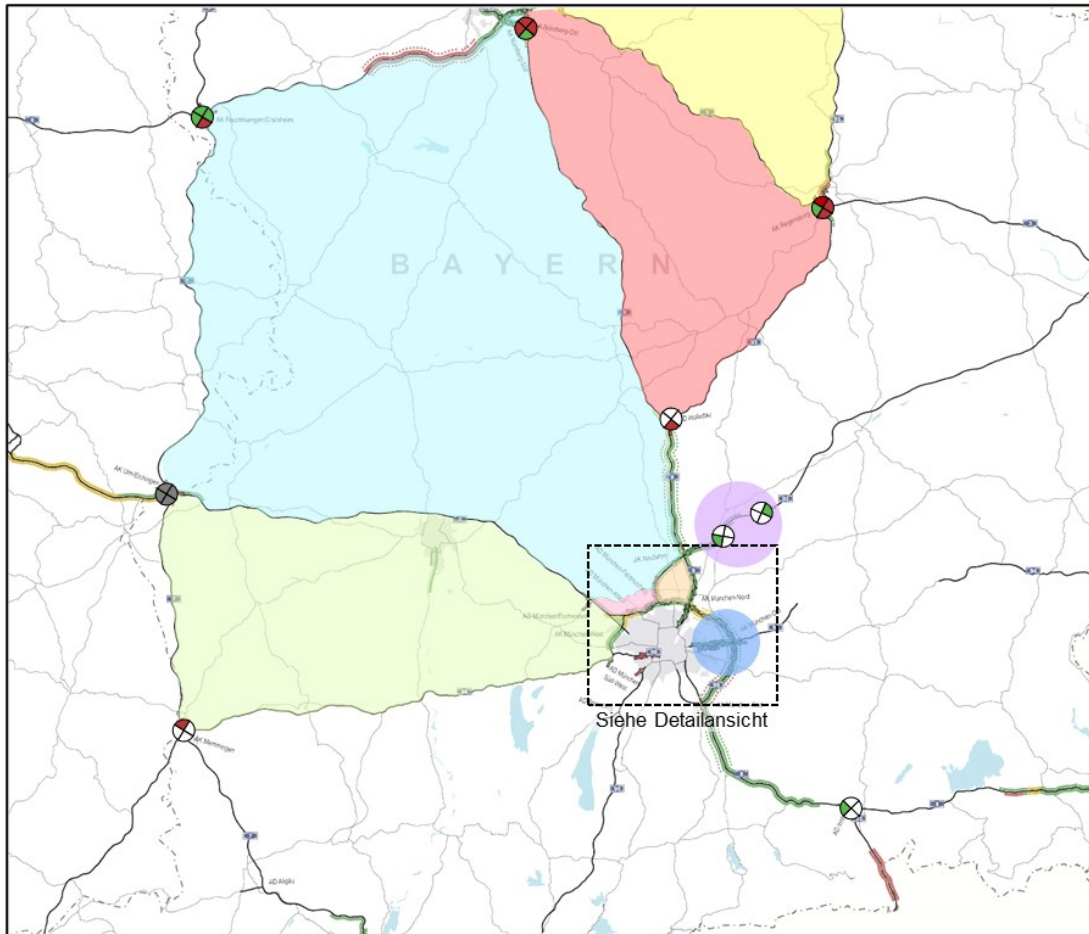
Legende:

-  NBA Nürnberg - Holledau - Regensburg A3 → A9/A93 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg-Süd A73/A6/A9
-  NBA Oberfranken A9 → A72/A93/A6 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg - Würzburg A3/A9 → A6/A7/A73 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg-Ost A9 → A3/A6 (dNet Bayern)
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)









Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Süd verwendet

NBA im Umfeld von München, Flughafen München in Bayern Süd



Legende:

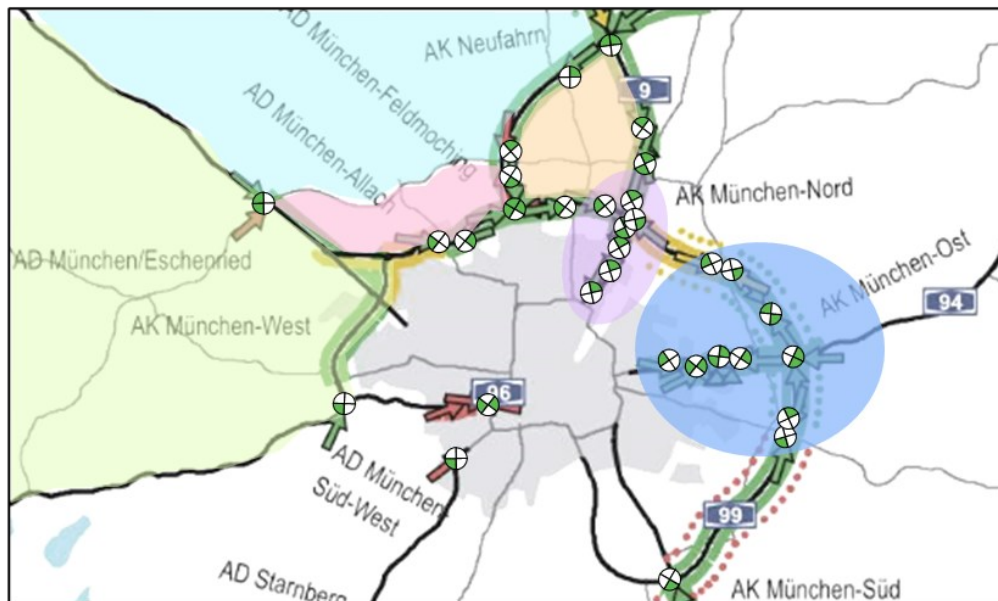
-  NBA München - Ulm - Memmingen A8 → A7/A96 (dNet Bayern)
-  NBA München - Nürnberg - Feuchtwangen - Ulm A8/A7 → A9/A6 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg - Holledau - Regensburg A3 → A9/A93 (dNet Bayern)
-  NBA Nürnberg - Regensburg - Oberpfalz A3 → A6/A93 (dNet Bayern)
-  NBA Flughafen München
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern in Planung (Stand 2020)

Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Süd und für die grenzüberschreitende NBA (Deutschland/Österreich/Italien) verwendet

Anlage 1, Blatt 6

NBA im Bereich München Stadt (Ausschnitt) in Bayern Süd



Legende:

- NBA München - Ulm - Memmingen A8 → A96/A7 (dNet Bayern)
- NBA München - Nürnberg - Feuchtwangen - Ulm A8/A7 → A9/A6 (dNet Bayern)
- NBA München-Nord A8/A99 → A92/B471
- NBA München-Nord A9 → A92/A99
- NBA Messe München
- NBA Allianz Arena München
- ⊗ Standorte im Bestand (Stand 2020)







Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Süd verwendet

NBA im Bereich Bremen



Legende:

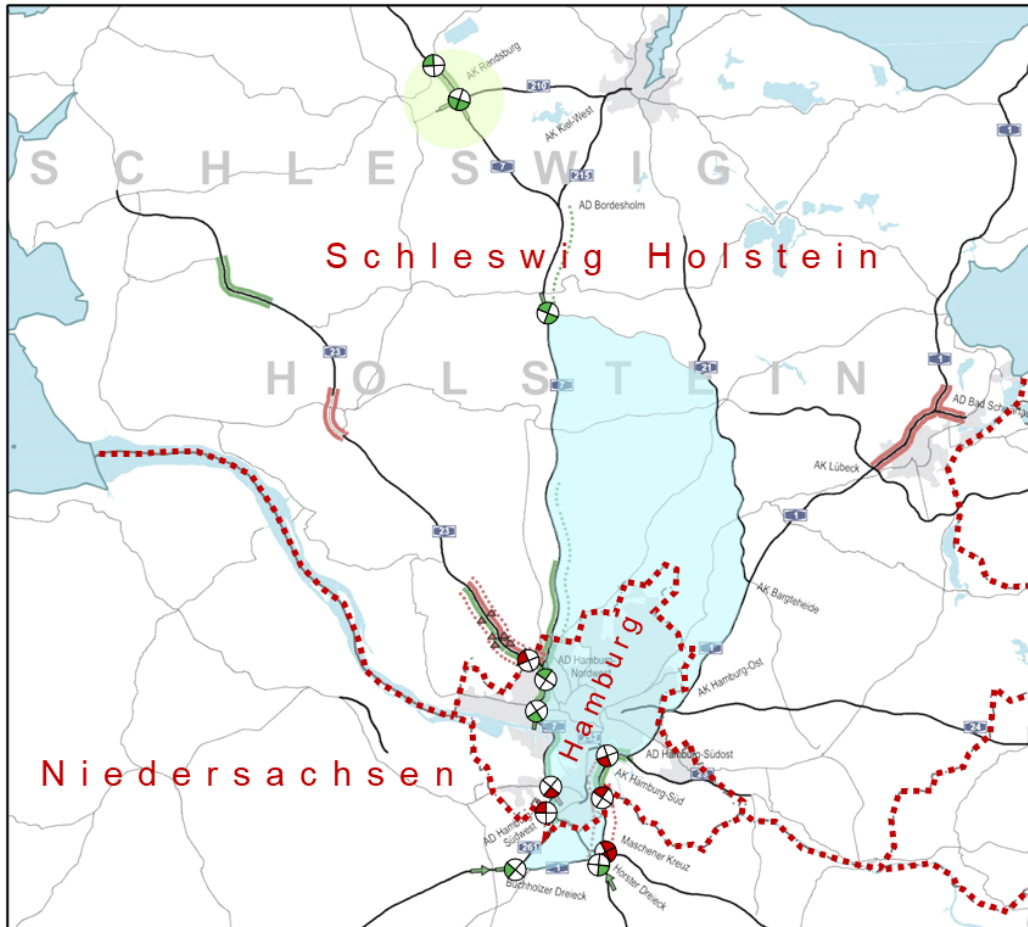
-  NBA Bereich A27 → A281/B6/A1
-  NBA Bereich A1 → B75/B6/A281/28
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)
-  Landesgrenze Bundesland

Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Nord verwendet

Anlage 1, Blatt 8

NBA im Bereich Hamburg und der Rader Hochbrücke in Schleswig Holstein



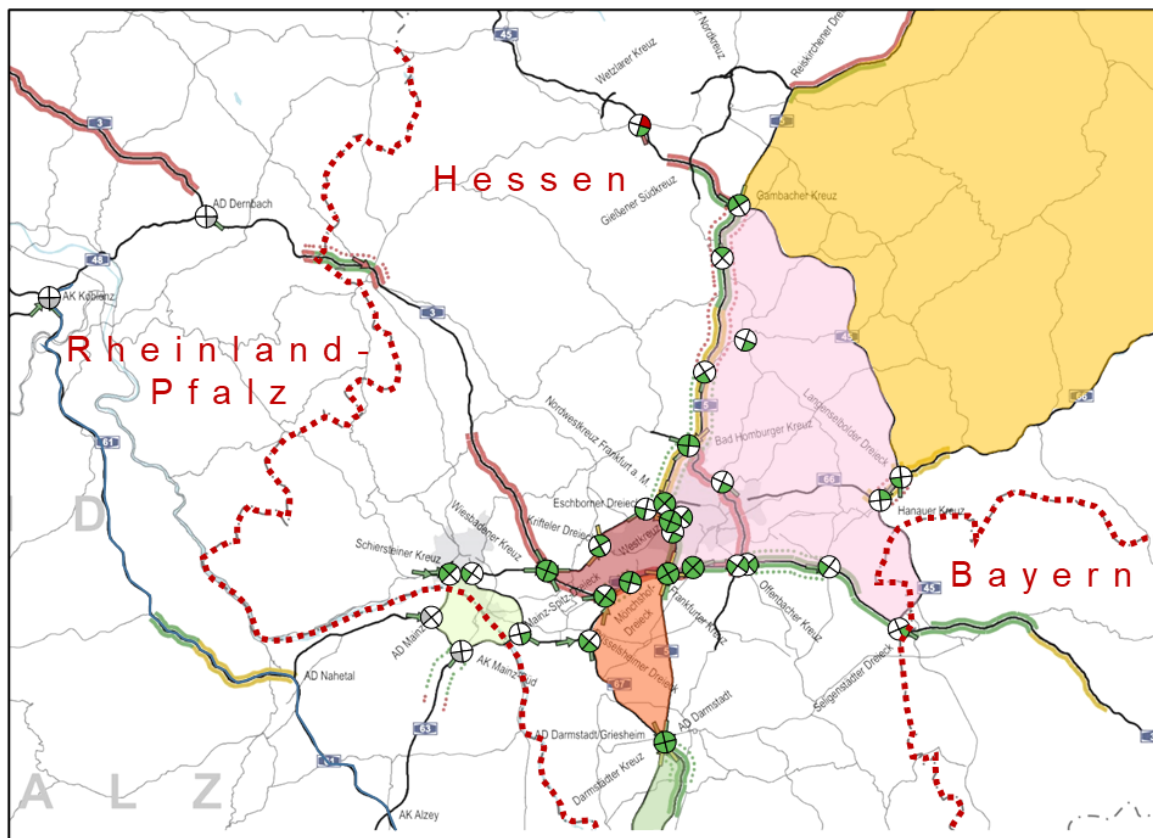
Legende:

- NBA Hamburg A7 → A1/A21/B205
- NBA Rader Hochbrücke/Stadttunnel Rendsburg
- Standorte im Bestand (Stand 2020)
- Standorte in Planung (Stand 2020)
- Landesgrenze Bundesland

Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Nord verwendet

NBA im Umfeld Frankfurt am Main in Hessen



Legende:

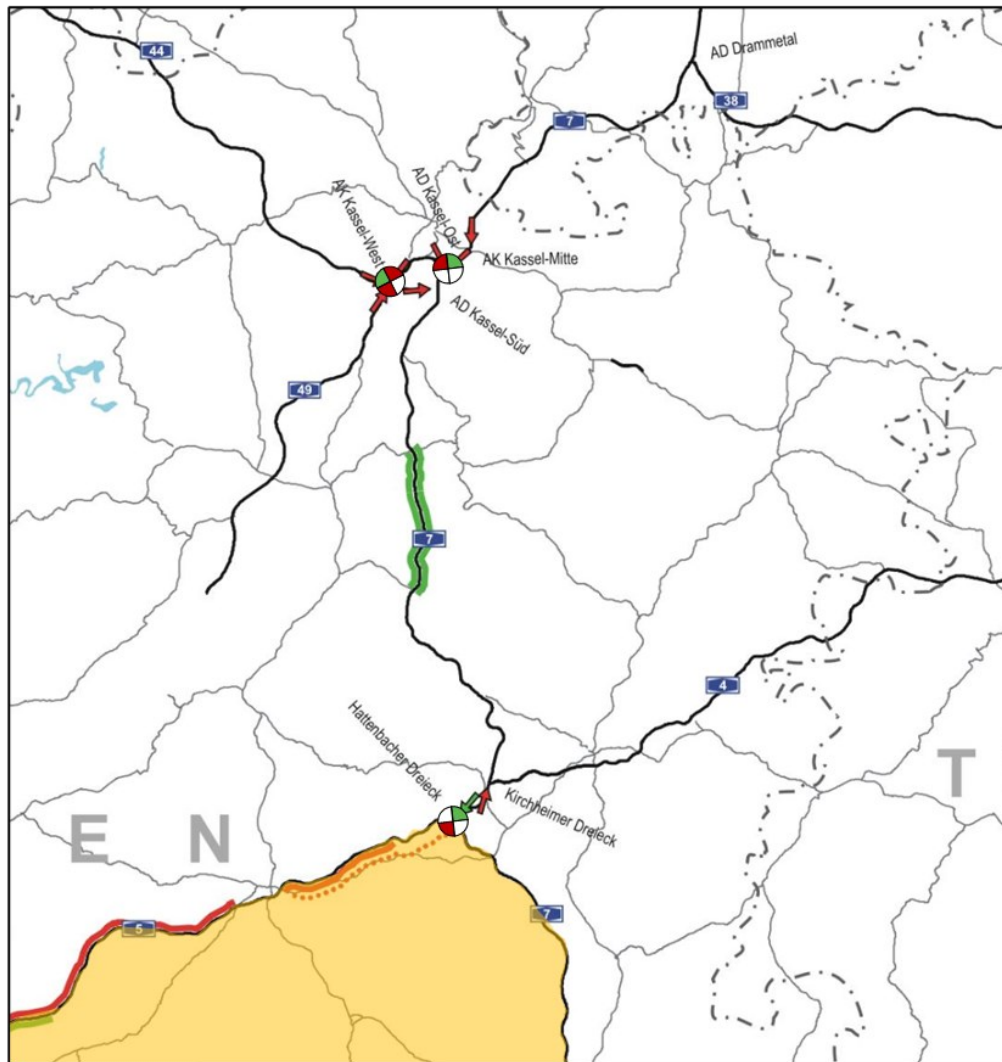
- NBA Mainzer Ring A60/A643/A66/A671 (Hessen / Rheinland-Pfalz)
- NBA Rhein-Neckar A5 → A67/B47(Hessen)
- NBA Frankfurt - Gambach - Seligenstadt A5/A45/A66/A3 (Hessen)
- NBA Frankfurt Rhein-Main A66 → A5/A3
- NBA Frankfurt - Darmstadt A5 → A3/A67
- NBA Hattenbach - Langenselbold A66/A7 → A45/A5
- Landesgrenzen Bundesland
- ⊗ Standorte im Bestand (Stand 2020)
- ⊗ Standorte in Planung (Stand 2020)
- ⊗ Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)

Hinweis:




- Für die Standorte in Hessen gilt: alle Standorte in Bezug auf dWiSta, dIRA, WWW-Ketten und WW mit LED-Einsatz
- Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC West und LDC Süd verwendet

Anlage 1, Blatt 10

NBA im Umfeld Kassel in Hessen



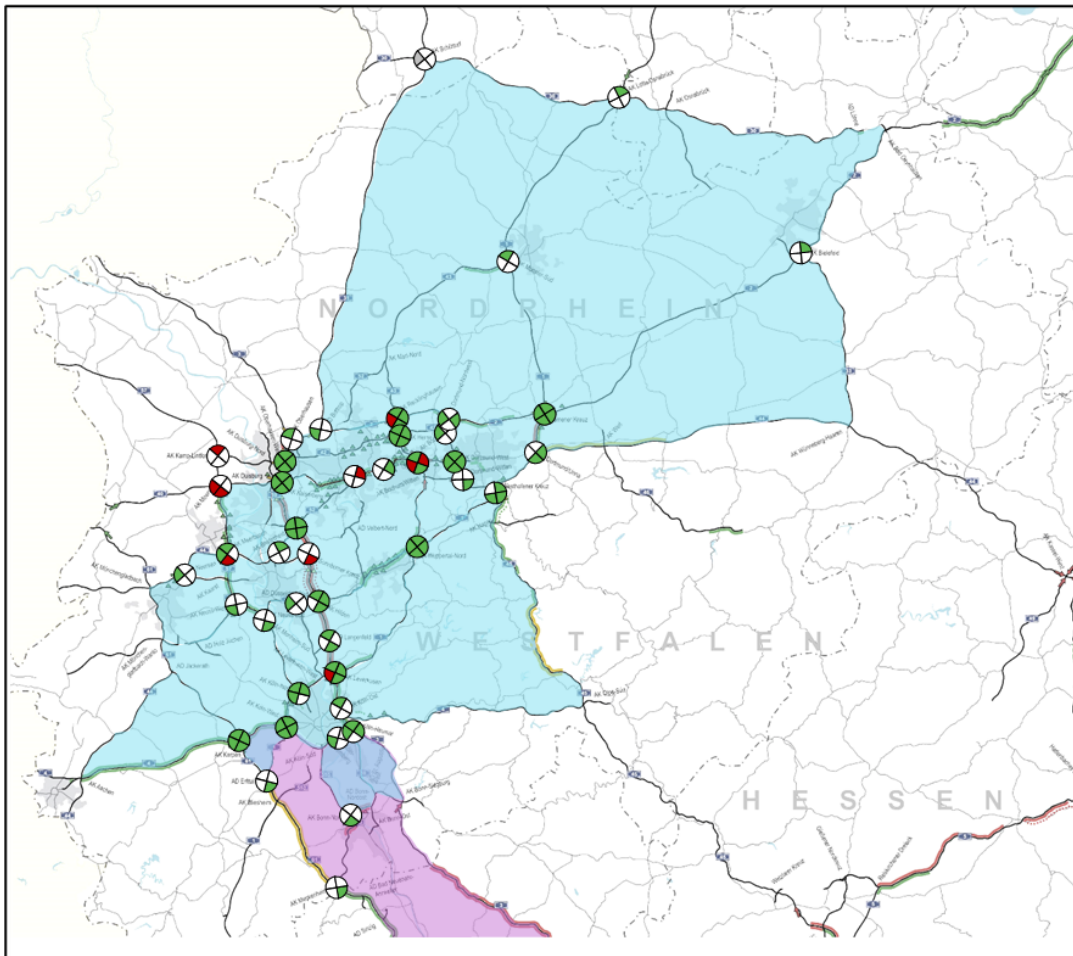
Legende:

-  NBA Hattenbach - Langenselbold A66/A7 → A45/A5
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)






Hinweis:

- Für die Standorte in Hessen gilt: alle Standorte in Bezug auf dWiSta, dIRA, WWW-Ketten und WW mit LED-Einsatz
- Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC West und LDC Süd verwendet

NBA im Bereich Nordrhein-Westfalen – Gesamt



Legende:

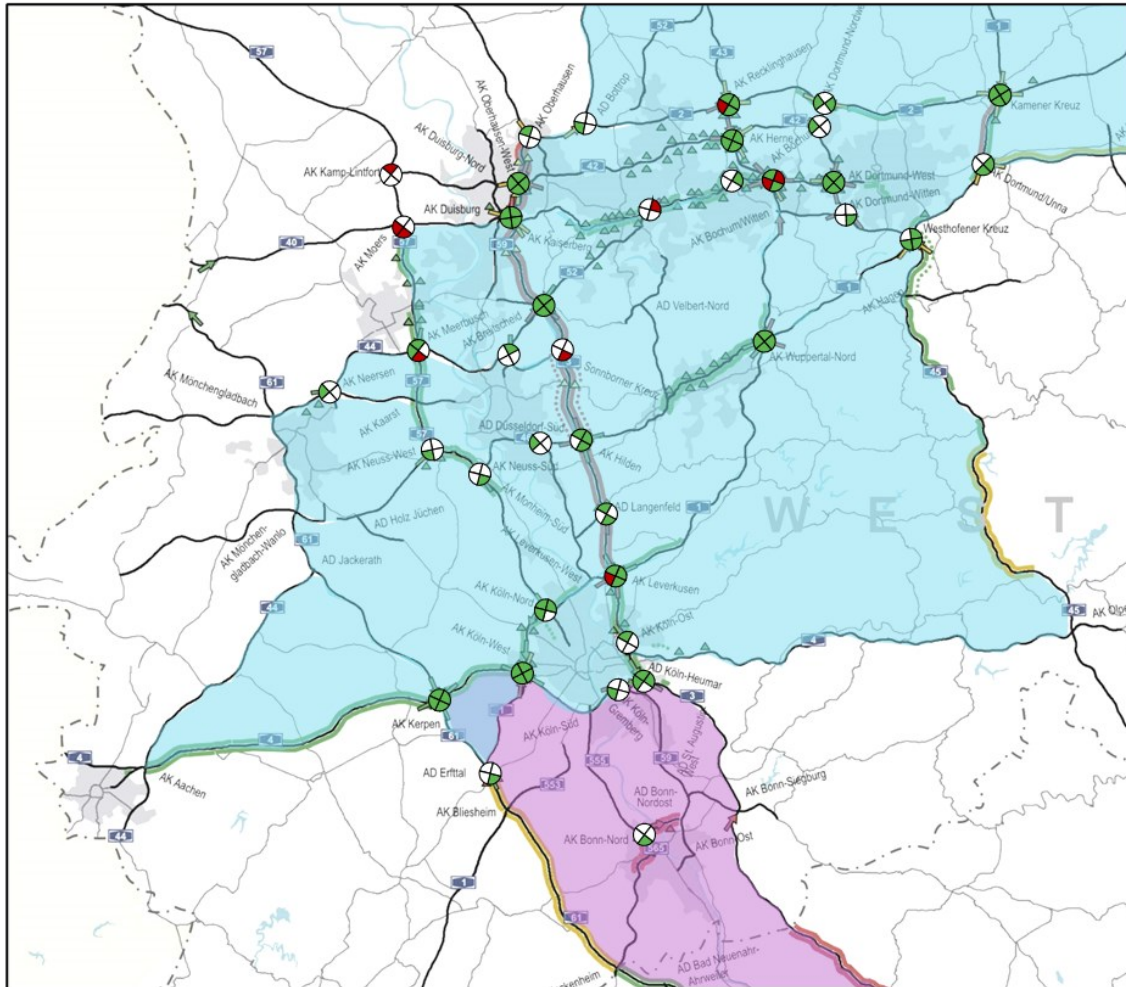
-  NBA Bereich Nordrhein-Westfalen
-  NBA Köln - Koblenz A48/A3 → A61/A4 (Nordrhein-Westfalen / Rheinland-Pfalz)
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)

Hinweis:





Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Nord, LDC West und für grenzüberschreitende NBA (Nordrhein-Westfalen/Niederlande) verwendet

Anlage 1, Blatt 12

NBA im Bereich in Nordrhein-Westfalen – Teil Rhein-Ruhr



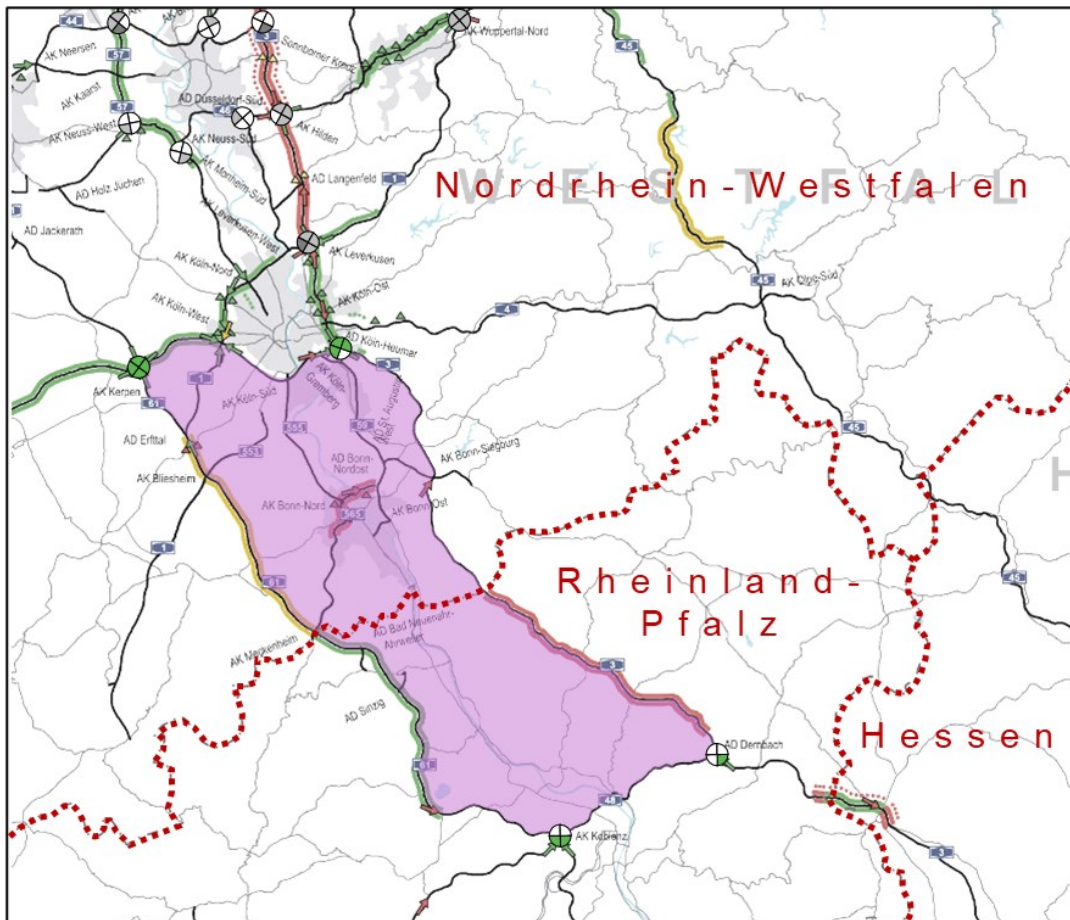
Legende:

-  NBA Bereich Nordrhein-Westfalen
-  NBA Köln - Koblenz A48/A3 → A61/A4 (Nordrhein-Westfalen / Rheinland-Pfalz)
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)






Hinweis:

Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC Nord, LDC West und für die grenzüberschreitende NBA (Deutschland / Niederlande) verwendet

NBA im Bereich Köln/Koblenz in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz



Legende:

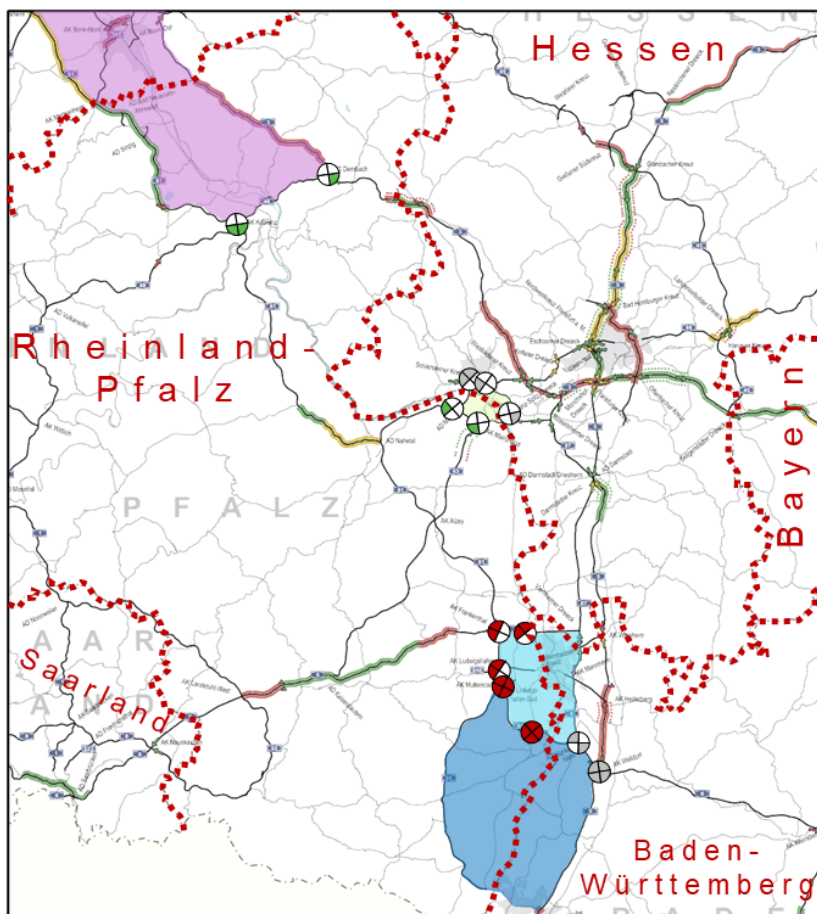
-  NBA Köln - Koblenz A48/A3 → A61/A4 (Nordrhein-Westfalen / Rheinland-Pfalz)
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern in Planung (Stand 2020)
-  Landesgrenzen Bundesland

Hinweis:









Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC West verwendet

Anlage 1, Blatt 14

NBA Mainzer Ring und NBA im Bereich Rhein-Neckar in Rheinland-Pfalz



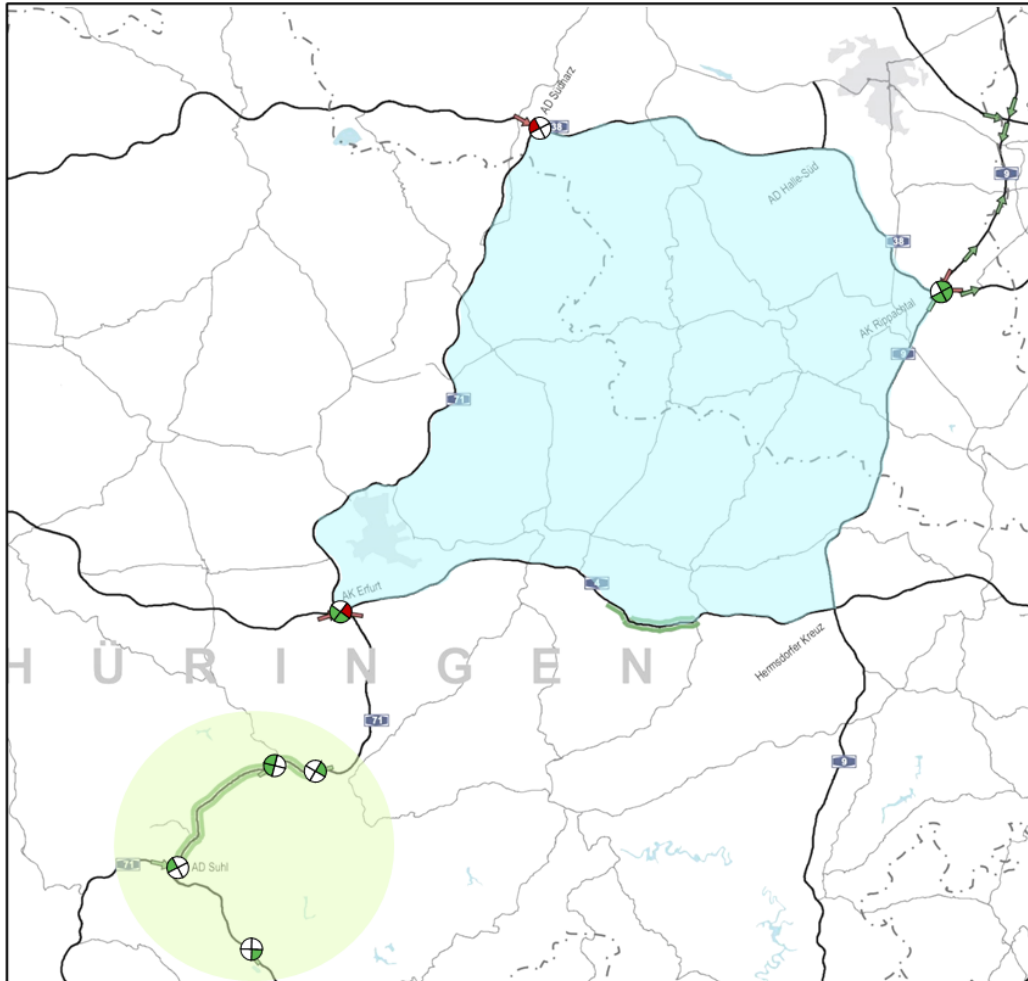
Legende:

-  NBA Mainzer Ring A60/A643/A66/A671 (Hessen / Rheinland-Pfalz)
-  NBA Rhein-Neckar A61/A6 (Rheinland-Pfalz / Baden-Württemberg)
-  NBA Rhein-Neckar Süd A61/A6/A5 → A65/B10 (Rheinland-Pfalz / Baden-Württemberg)
-  NBA Köln - Koblenz A48/A3 → A61/A4 (Rheinland-Pfalz / Nordrhein-Westfalen)
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)
-  Standorte in benachbarten Bundesländern im Bestand (Stand 2020)
-  Landesgrenzen Bundesland





Hinweis:

- Für die Standorte in Hessen siehe Blatt 9
- Ausgewählte Standorte in den dargestellten NBA werden auch für Maßnahmen im LDC West und LDC Süd verwendet

NBA im Bereich Thüringen und Sachsen-Anhalt



Legende:

-  NBA Erfurt - Halle/Leipzig (Thüringen / Sachsen-Anhalt) A4/A9 → A71/A38
-  NBA Tunnelkette Thüringer Wald-Querung A71
-  Standorte im Bestand (Stand 2020)
-  Standorte in Planung (Stand 2020)

Anlage 2 Verfahrensvorschrift Wirksamkeitsanalyse NBA

Inhalt

1	Definitionen	3
1.1	Laufvariablen	3
1.2	Indizes	3
1.3	Daten zur Beschreibung der Infrastruktur	3
1.3.1	Netzmasche	3
1.3.2	Kapazitätsengpässe	3
1.4	Verkehrsdaten	4
1.4.1	Verkehrsdaten I (Pkw) aus Quelle lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär) und/oder Stromverfolgung	4
1.4.2	Verkehrsdaten II (Pkw) aus Quelle Netzspinne in makroskopischem Verkehrsmodell (VM)	4
1.4.3	Verkehrsdaten III (Pkw) aus Quelle lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär)	4
1.4.4	Verkehrsdaten I (Lkw) aus Quelle lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär) und/oder Stromverfolgung	4
1.4.5	Verkehrsdaten II (Lkw) aus Quelle Netzspinne in makroskopischem Verkehrsmodell (VM)	4
1.4.6	Verkehrsdaten III (Lkw) aus Quelle lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär)	5
1.5	Fahrtzeiten	5
1.5.1	Fahrtzeiten (Pkw) aus Quelle FCD oder routingfähiges Netz	5
1.5.2	Fahrtzeiten (Lkw) aus Quelle FCD oder routingfähiges Netz	5
2	Verfahrensteil Anwendungsfall S - Störungsinformation	6
2.1	Schritt S1 Störungsbeurteilung	6
2.1.1	Eingangsgrößen	6
2.1.2	Ergebnis	6
2.2	Schritt S2 Ermittlung des Beeinflussungspotenzials	7
2.2.1	Eingangsgrößen	7
2.2.2	Ergebnis	7
2.3	Schritt S3 Ermittlung der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden	8
2.3.1	Eingangsgrößen	8
2.3.2	Ergebnis	8
2.4	Schritt S4 Ermittlung der beeinflussten Verkehrsteilnehmenden	9
2.4.1	Schritt S4-1 Anwendung im Rahmen einer Ex-Ante-Untersuchung	9
2.4.2	Schritt S4-2 Anwendung im Rahmen einer Ex-Post-Untersuchung	9
3	Verfahrensteil Anwendungsfall A - Alternativroutenempfehlung	11
3.1	Schritt A1 Störungsbeurteilung	11
3.1.1	Eingangsgrößen	11
3.1.2	Ergebnis	12
3.2	Schritt A2 Ermittlung des Beeinflussungspotenzials	13
3.2.1	Eingangsgrößen	13
3.2.2	Ergebnis	13
3.3	Schritt A3 Ermittlung der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmende	14
3.3.1	Eingangsgrößen	14
3.3.2	Ergebnis	14
3.4	Schritt A4 Ermittlung der Restkapazität auf Alternativroute	15

Anlage 3, Blatt 2

3.4.1	Eingangsgrößen	15
3.4.2	Ergebnis	15
3.5	Schritt A5 Zeitvorteil auf Alternativroute	16
3.5.1	Schritt A5-1 Anwendung im Rahmen einer Ex-Ante-Untersuchung	16
3.5.2	Schritt A5-2 Anwendung im Rahmen einer Ex-Post-Untersuchung	16
3.6	Schritt A6 Aktivierung der Alternativroute	18
3.6.1	Eingangsgrößen	18
3.6.2	Ergebnis	18

1 Definitionen

1.1 Laufvariablen

- Betrachtete Netzmasche i
- Zeitintervall während der Störung (30 Minuten-Intervalle) a
- Zeitintervall des Vergleichszeitraumes (30 Minuten-Intervalle) a^*
- Kapazitätsengpass p
- Streckenabschnitt r
- Störung j

1.2 Indizes

- Normalroute m
- Alternativroute k
- Pkw P
- Lkw L
- Entscheidungspunkt S
- Endpunkt Z
- Einfahrende E
- Durchfahrende D
- Ausfahrende A
- Verkehrsmodell VM
- Störung ST

1.3 Daten zur Beschreibung der Infrastruktur

1.3.1 Netzmasche

- Entscheidungspunkt S_i
- Endpunkt Z_i
- Länge Normalroute m in km $L_{i,m}$
- Länge Alternativroute k in km $L_{i,k}$
- Kapazitätsengpass KE

1.3.2 Kapazitätsengpässe

- Kapazitätsengpass p auf der Alternativroute k , mit $p = 1 \dots n$ KE_p

Anlage 3, Blatt 4**1.4 Verkehrsdaten****1.4.1 Verkehrsdaten I (Pkw) aus Quelle****lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär) und/oder Stromverfolgung**

Typ 1: Verkehrsdatenerfassung mit Stromverfolgung

- Einfahrende Pkw Normalroute m
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_P E_{m,a}$
- Durchfahrende Pkw Normalroute m
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_P D_{m,a}$

Typ 2: Lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär)

- Ausfahrende Pkw am Entscheidungspunkt S
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_P A_{S,a}$

1.4.2 Verkehrsdaten II (Pkw) aus Quelle**Netzspinne in makroskopischem Verkehrsmodell (VM)**

- Einfahrende Pkw auf Normalroute m
aus dem Verkehrsmodell als DTV_{w6} (Anzahl Pkw) $Q_P EVM_m$
- Durchfahrende Pkw der Normalroute m
aus dem Verkehrsmodell als DTV_{w6} (Anzahl Pkw) $Q_P DVM_m$

1.4.3 Verkehrsdaten III (Pkw) aus Quelle**lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär)**

- Verkehrsaufkommen Pkw am Kapazitätsengpass p ,
 $p = 1 \dots n$, für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_P KE_{p,a}$

1.4.4 Verkehrsdaten I (Lkw) aus Quelle**lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär) und/oder Stromverfolgung**

Typ 1: Verkehrsdatenerfassung mit Stromverfolgung

- Einfahrende Lkw Normalroute m
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_L E_{m,a}$
- Durchfahrende Lkw Normalroute m
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_L D_{m,a}$

Typ 2: Lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär)

- Ausfahrende Lkw am Entscheidungspunkt S
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_L A_{S,a}$

1.4.5 Verkehrsdaten II (Lkw) aus Quelle**Netzspinne in makroskopischem Verkehrsmodell (VM)**

- Einfahrende Lkw auf Normalroute m
aus dem Verkehrsmodell als DTV_{w6} (Anzahl Lkw) $Q_L EVM_m$
- Durchfahrende Lkw der Normalroute m
aus dem Verkehrsmodell als DTV_{w6} (Anzahl Lkw) $Q_L DVM_m$

1.4.6 Verkehrsdaten III (Lkw) aus Quelle

lokale Verkehrsdatenerfassung (stationär oder temporär)

- Verkehrsaufkommen Lkw am Kapazitätsengpass p ,
 $p = 1 \dots n$, für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $Q_L KE_{p,a}$

1.5 Fahrtzeiten

1.5.1 Fahrtzeiten (Pkw) aus Quelle

FCD oder routingfähiges Netz

- Fahrtzeit ungestört für Pkw auf Normalroute m zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{P,i,m,j,a^*}
- Fahrtzeit ungestört für Pkw auf Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{P,i,k,j,a^*}
Hinweis: Sofern keine Fahrzeiten für die ungestörte Normal- und Alternativroute aus FCD vorliegen, kann ersatzweise als Pkw-Fahrtzeit die minimale Fahrtzeit aus einem routingfähigen Netz im ungestörten Zustand verwendet werden.
- Fahrtzeit für Pkw auf Normalroute m mit Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $T_{P,i,m,j,a}$
- Fahrtzeit für Pkw auf Alternativroute k im Zeitraum der Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $T_{P,i,k,j,a}$

1.5.2 Fahrtzeiten (Lkw) aus Quelle

FCD oder routingfähiges Netz

- Fahrtzeit ungestört für Lkw auf Normalroute m zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{L,i,m,j,a^*}
- Fahrtzeit ungestört für Lkw auf Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{L,i,k,j,a^*}
Hinweis: Sofern keine Fahrzeiten für die ungestörte Normal- und Alternativroute aus FCD vorliegen, kann ersatzweise als Lkw-Fahrtzeit die maximale Fahrtzeit aus einem routingfähigen Netz im ungestörten Zustand verwendet werden.
- Fahrtzeit für Lkw auf Normalroute m mit Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $T_{L,i,m,j,a}$
- Fahrtzeit für Lkw auf Alternativroute k im Zeitraum der Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $T_{L,i,k,j,a}$

Anlage 3, Blatt 6

2 Verfahrensteil Anwendungsfall S - Störungsinformation

2.1 Schritt S1 Störungsbeurteilung

2.1.1 Eingangsgrößen

- Information je Störung j , $j = 1 \dots n$

Eingangsgrößen aus FCD

- Anfangszeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm $STTA_j$
- Endzeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm $STTE_j$
Hinweis: Zur Verwendung des Beeinflussungspotenzials Pkw und Lkw müssen Beginn und Ende sowie der zeitliche Verlauf der Störung 30-Minuten-Intervallen zugeordnet werden (vgl. Schritt S3)
- Dauer der Störung j in min STD_j
- Lage des stromaufwärtigen Endes der Störung j auf Streckenabschnitt r
 $r = 1 \dots n$ (je 30 Minuten-Intervall a) $STE_{j,a}$
Hinweis: Zur Ermittlung der Wirksamkeit nicht erforderlich, zur Prüfung / Festlegung von Anzeigeeinhalten als Information hilfreich.
- Länge der Störung j in km (je 30 Minuten-Intervall a) $STL_{j,a}$
Hinweis: Zur Ermittlung der Wirksamkeit nicht erforderlich, zur Prüfung / Festlegung von Anzeigeeinhalten als Information hilfreich.
- Zeitfaktor 1 Verlustzeit in Störung j je 30 Minuten-Intervall a
 - Verlustzeit in Störung j (Kfz) (gemessen oder modelliert)
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $TVST_{Kfz,j,a}$
Hinweis: Maßgebliche Verlustzeit bspw. aus FCD-Fahrtzeiten

Weitere Eingangsgrößen

- Minstdauer einer Störung (15 min) $minSTD$
- Mindestverlustzeit einer Störung zur Anzeige einer Störungsinformation (1 min) $minTVST_1$
- Störungsart $STArt_j$
Hinweis: Zur Ermittlung der Wirksamkeit nicht erforderlich, zur Prüfung / Festlegung von Anzeigeeinhalten als Information hilfreich.

2.1.2 Ergebnis

- Relevante Störungen für Anwendungsfall S, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
 - $STD_j \geq minSTD$
 - $TVST_{Kfz,j,a} > minTVST_1$

2.2 Schritt S2 Ermittlung des Beeinflussungspotenzials

2.2.1 Eingangsgrößen

- Je Wochentag 30 Minuten-Intervall a^* , $a^* = 1 \dots n$
*Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Normalroute m , da ein unbeeinflusstes Verhalten der Verkehrsteilnehmenden zugrunde gelegt wird.
Bei der Auswahl hierzu vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.*
- Einfahrende Pkw Normalroute m im Vergleichszeitraum ohne Störung
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_P E_{m,a^*}$
- Einfahrende Lkw Normalroute m im Vergleichszeitraum ohne Störung
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_L E_{m,a^*}$

2.2.2 Ergebnis

- Beeinflussungspotenzial Pkw je Zeitintervall a^* $Q_P E_{m,a^*}$
- Beeinflussungspotenzial Lkw je Zeitintervall a^* $Q_L E_{m,a^*}$

Anlage 3, Blatt 8

2.3 Schritt S3 Ermittlung der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden

2.3.1 Eingangsgrößen

- Je Wochentag 30 Minuten-Intervall a^* , $a^* = 1 \dots n$

Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Normalroute m , da ein unbeeinflusstes Verhalten der Verkehrsteilnehmenden zugrunde gelegt wird.

Bei der Auswahl hierzu vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.

- Beeinflussungspotenzial Pkw in 30 Minuten-Intervallen a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_P E_{m,a^*}$
- Beeinflussungspotenzial Lkw in 30 Minuten-Intervallen a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_L E_{m,a^*}$
- Anfangszeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm $STTA_j$
- Endzeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm $STTE_j$

Hinweis: Zur Verwendung des Beeinflussungspotenzials Pkw und Lkw müssen Beginn und Ende sowie der zeitliche Verlauf der Störung 30-Minuten-Intervallen zugeordnet werden (vgl. Schritt S1)

2.3.2 Ergebnis

- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw je Zeitintervall a mit Störung j $QS_{P,j,a} = Q_P E_{m,a^*}$
- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw je Zeitintervall a mit Störung j $QS_{L,j,a} = Q_L E_{m,a^*}$
- Abkürzungen:
 - Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende durch Anwendungsfall S \rightarrow QS

2.4 Schritt S4 Ermittlung der beeinflussten Verkehrsteilnehmenden

2.4.1 Schritt S4-1 Anwendung im Rahmen einer Ex-Ante-Untersuchung

2.4.1.1 Eingangsgrößen

- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw je Zeitintervall a mit Störung j $QS_{P,j,a}$
- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw je Zeitintervall a mit Störung j $QS_{L,j,a}$

2.4.1.2 Ergebnis

Hinweis: Für die Ex-Ante-Betrachtung wird davon ausgegangen, dass aus den beeinflussbaren Verkehrsteilnehmenden infolge der Information über eine Störung beeinflusste Verkehrsteilnehmende werden.

- Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Pkw über alle Zeitintervalle a mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QS_{P,j,a})$$

- Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Lkw über alle Zeitintervalle a mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QS_{L,j,a})$$

2.4.2 Schritt S4-2 Anwendung im Rahmen einer Ex-Post-Untersuchung

2.4.2.1 Eingangsgrößen

- für Intervalle a^* (im vergleichbaren Zeitraum der Störung j) ohne Störung j auf Normalroute m (Ohne-Fall)

Hinweis: Zur Verwendung der Verkehrsdaten für das Zeitintervall a^ , muss gewährleistet sein, dass sowohl auf der Normal-, als auch auf der Alternativroute keine Störungen vorliegen.*

Bei der Auswahl des Zeitintervall a^ vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.*

- Ausfahrende Pkw in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt S je Zeitintervall a^* ohne Störung $QSO_{PA_{S,j,a^*}}$
- Ausfahrende Lkw in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt S je Zeitintervall a^* ohne Störung $QSO_{LA_{S,j,a^*}}$
- für Intervalle a mit Störung j auf Normalroute m (Mit-Fall)
 - Ausfahrende Pkw auf Alternativroute am Entscheidungspunkt S je Zeitintervall a mit Störung j $QSM_{PA_{S,j,a}}$
 - Ausfahrende Lkw auf Alternativroute am Entscheidungspunkt S je Zeitintervall a mit Störung j $QSM_{LA_{S,j,a}}$
- Abkürzungen:
 - Ausfahrende in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt für Anwendungsfall S ohne Störung (Ohne-Fall) \rightarrow QSO
 - Ausfahrende in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt für Anwendungsfall S mit Störung (Mit-Fall) \rightarrow QSM

Anlage 3, Blatt 10

2.4.2.2 Ergebnis

Hinweis: Beeinflusste Verkehrsteilnehmende im Sinne von mit der Störungsinformation erreichte Verkehrsteilnehmende, die aufgrund der Störungsinformation von der Normalroute auf die Alternativroute wechseln.

- Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Pkw über alle Zeitintervalle a mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QSM_P A_{S,j,a} - QSO_P A_{S,j,a*})$$

- Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Lkw über alle Zeitintervalle a mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QSM_L A_{S,j,a} - QSO_L A_{S,j,a*})$$

3 Verfahrensteil Anwendungsfall A - Alternativroutenempfehlung

3.1 Schritt A1 Störungsbeurteilung

3.1.1 Eingangsgrößen

- Information je Störung j , $j = 1 \dots n$

Eingangsgrößen aus FCD

- Anfangszeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm $STTA_j$
- Endzeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm $STTE_j$
Hinweis: Zur Verwendung des Beeinflussungspotenzials Pkw und Lkw müssen Beginn und Ende sowie der zeitliche Verlauf der Störung 30-Minuten-Intervallen zugeordnet werden (vgl. Schritt A3)
- Dauer der Störung j in min STD_j
- Lage des stromaufwärtigen Endes der Störung j auf Streckenabschnitt r
 $r = 1 \dots n$ (je 30 Minuten-Intervall a) $STE_{j,a}$
Hinweis: Zur Ermittlung der Wirksamkeit nicht erforderlich, zur Prüfung / Festlegung von Anzeigehalten als Information hilfreich.
- Länge der Störung j in km (je 30 Minuten-Intervall a) $STL_{j,a}$
Hinweis: Zur Ermittlung der Wirksamkeit nicht erforderlich, zur Prüfung / Festlegung von Anzeigehalten als Information hilfreich.
- Fahrtzeit ungestört für Pkw auf Normalroute m zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{P,i,m,j,a^*}
- Fahrtzeit ungestört für Pkw auf Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{P,i,k,j,a^*}
- Fahrtzeit ungestört für Lkw auf Normalroute m zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{L,i,m,j,a^*}
- Fahrtzeit ungestört für Lkw auf Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ T_{L,i,k,j,a^*}
- Zeitfaktor 1 Verlustzeit in Störung (je 30 Minuten-Intervall a)
 - Verlustzeit in Störung j (Kfz) (gemessen oder modelliert)
für 30 Minuten-Intervalle a mit $a = 1 \dots n$ $TVST_{Kfz,j,a}$
Hinweis: Maßgebliche Verlustzeit bspw. aus FCD-Fahrtzeiten
- Zeitfaktor 2 Fahrtzeitdifferenz
 - Fahrtzeitdifferenz Pkw ungestört zwischen Normalroute m und Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $U_{P,i,k,j,a^*} = T_{P,i,k,j,a^*} - T_{P,i,m,j,a^*}$
 - Fahrtzeitdifferenz Lkw ungestört zwischen Normalroute m und Alternativroute k zu einem vergleichbaren Zeitraum zur Störung j in min
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $U_{L,i,k,j,a^*} = T_{L,i,k,j,a^*} - T_{L,i,m,j,a^*}$

Anlage 3, Blatt 12

Weitere Eingangsgrößen

- Mindestdauer einer Störung (15 min) $minSTD$
- Mindestverlustzeit einer Störung zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung (10 min) $minTVST_2$
- Mindestzeitvorteil der Alternativroute k gegenüber der gestörten Normalroute m zur Anzeige einer Alternativroutenempfehlung (10 min) $minVT_k$
- Störungssituation der Alternativroute
keine Störung in den betrachteten 30 Minuten-Intervallen dokumentiert
- Störungsart $STArt_j$
Hinweis: Zur Ermittlung der Wirksamkeit nicht erforderlich, zur Prüfung / Festlegung von Anzeigehalten als Information hilfreich.

3.1.2 Ergebnis

- Relevante Störungen für Anwendungsfall A, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:
 - $STD_j \geq minSTD$
 - $TVST_{Kfz,j,a} > minTVST_2$
 - Störungsfreiheit der Alternativroute
 - $U_{P_{i,k,a}} > minVT_k$
 - $U_{L_{i,k,a}} > minVT_k$

3.2 Schritt A2 Ermittlung des Beeinflussungspotenzials

3.2.1 Eingangsgrößen

- Je Wochentag 30 Minuten-Intervall a^* , $a^* = 1 \dots n$
*Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Normalroute m , da ein unbeeinflusstes Verhalten der Verkehrsteilnehmende zugrunde gelegt wird.
Bei der Auswahl hierzu vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.*
- Einfahrende Pkw Normalroute m im Vergleichszeitraum ohne Störung
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_P E_{m,a^*}$
- Durchfahrende Pkw Normalroute m im Vergleichszeitraum ohne Störung
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_P D_{m,a^*}$
- Einfahrende Lkw Normalroute m im Vergleichszeitraum ohne Störung
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_L E_{m,a^*}$
- Durchfahrende Lkw Normalroute m im Vergleichszeitraum ohne Störung
für 30 Minuten-Intervalle a^* mit $a^* = 1 \dots n$ $Q_L D_{m,a^*}$

3.2.2 Ergebnis

- Beeinflussungspotenzial Pkw je Zeitintervall a $Q_P D_{m,a} = Q_P D_{m,a^*}$
- Beeinflussungspotenzial Lkw je Zeitintervall a $Q_L D_{m,a} = Q_L D_{m,a^*}$

Anlage 3, Blatt 14

3.3 Schritt A3 Ermittlung der beeinflussbaren Verkehrsteilnehmende

3.3.1 Eingangsgrößen

- Je Wochentag 30 Minuten-Intervall a , $a = 1 \dots n$
*Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Normalroute m , da ein unbeeinflusstes Verhalten der Verkehrsteilnehmende zugrunde gelegt wird.
 Bei der Auswahl hierzu vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.*
- Beeinflussungspotenzial Pkw
 für 30 Minuten-Intervalle a , $a = 1 \dots n$ $Q_P D_{m,a}$
- Beeinflussungspotenzial Lkw
 für 30 Minuten-Intervalle a , $a = 1 \dots n$ $Q_L D_{m,a}$
- Anfangszeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm STA_j
- Endzeitpunkt der Störung j dd.mm.yyyy hh:mm STE_j
Hinweis: Zur Verwendung des Beeinflussungspotenzials Pkw und Lkw müssen Beginn und Ende sowie der zeitliche Verlauf der Störung 30-Minuten-Intervallen zugeordnet werden (vgl. Schritt A1)

3.3.2 Ergebnis

- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw je Zeitintervall a mit Störung j $QA_{P,j,a} = Q_P D_{m,a}$
- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw je Zeitintervall a mit Störung j $QA_{L,j,a} = Q_L D_{m,a}$
- Abkürzungen:
 - Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende durch Anwendungsfall A \rightarrow QA

3.4 Schritt A4 Ermittlung der Restkapazität auf Alternativroute

3.4.1 Eingangsgrößen

- Je Wochentag 30 Minuten-Intervall a^* , $a^* = 1 \dots n$
Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Normalroute m und Alternativroute k , damit die Restkapazität nicht unter dem Einfluss einer Störung steht. Bei der Auswahl hierzu vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.
- Kapazität C in Kfz für Kapazitätsengpass p , $p = 1 \dots n$,
in 30 Minuten-Intervallen a^* , $a^* = 1 \dots n$ $C_{Kfz}KE_{p,a^*}$
Hinweis: Der relevante Kapazitätsengpass wird durch das Entwurfselement in Knotenpunkten oder auf Streckenabschnitten mit der infrastrukturseitig geringsten Kapazität definiert.
- Verkehrsaufkommen Pkw in 30 Minuten-Intervallen a^* , $a^* = 1 \dots n$ $Q_P KE_{p,a^*}$
- Verkehrsaufkommen Lkw in 30 Minuten-Intervallen a^* , $a^* = 1 \dots n$ $Q_L KE_{p,a^*}$

3.4.2 Ergebnis

Hinweis: Ermittlung der Restkapazität auf der Alternativroute erfolgt durch Anwendung des für den Kapazitätsengpass p relevanten Verfahrens gemäß Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS).

- Restkapazität auf Alternativroute je Zeitintervall a
für Kapazitätsengpass p , $p = 1 \dots n$,
in 30 Minuten-Intervallen a^* , $a^* = 1 \dots n$ $RC_{Kfz}KE_{p,a^*}$
$$RC_{Kfz}KE_{p,a^*} = C_{Kfz}KE_{p,a^*} - (Q_P KE_{p,a^*} + Q_L KE_{p,a^*})$$

Anlage 3, Blatt 16

3.5 Schritt A5 Zeitvorteil auf Alternativroute

3.5.1 Schritt A5-1 Anwendung im Rahmen einer Ex-Ante-Untersuchung

3.5.1.1 Eingangsgrößen

Hinweis: Bedingung ist, dass Alternativroutenempfehlung relevant ist.

- Je Wochentag 30 Minuten-Intervall a , $a = 1 \dots n$
*Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Normalroute m , da ein unbeeinflusstes Verhalten der Verkehrsteilnehmende zugrunde gelegt wird.
 Bei der Auswahl hierzu vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.*
- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Pkw in 30 Minuten-Intervallen a , $a = 1 \dots n$
 $QA_{P,j,a}$
- Beeinflussbare Verkehrsteilnehmende Lkw in 30 Minuten-Intervallen a , $a = 1 \dots n$
 $QA_{L,j,a}$

3.5.1.2 Ergebnis

- Zeitvorteil je Pkw auf Alternativroute k mit Störung j im Zeitintervall a
 $ZVA_{P,j,a} = T_{P,i,m,j,a} + TVST_{Kfz,j,a} - T_{P,i,k,j,a}$
- Zeitvorteil je Lkw auf Alternativroute k mit Störung j im Zeitintervall a
 $ZVA_{L,j,a} = T_{L,i,m,j,a} + TVST_{Kfz,j,a} - T_{L,i,k,j,a}$
- Mindestzeitvorteil für Kfz auf Alternativroute bei Störung j $minZVA_{Kfz,k} = 10 \text{ min}$
Hinweis: Der Zeitvorteil je Pkw wird als maßgebend für den hier definierten Mindestzeitvorteil (bezogen auf die Kfz auf der Alternativroute) angesehen.
- Bedingung für Alternativroutenempfehlung $ZVA_{P,j,a} > minZVA_{Kfz,k}$
- Zeitvorteil für alle bei Nutzung der Alternativroute
 - Zeitvorteil aller Pkw über alle Zeitintervalle mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QA_{P,j,a} * ZVA_{P,j,a})$$
 - Zeitvorteil aller Lkw über alle Zeitintervalle mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QA_{L,j,a} * ZVA_{L,j,a})$$

3.5.2 Schritt A5-2 Anwendung im Rahmen einer Ex-Post-Untersuchung

3.5.2.1 Eingangsgrößen

Hinweis: Bedingung ist, dass Alternativroutenempfehlung relevant ist.

- für Intervalle a^* (im vergleichbaren Zeitraum der Störung j) ohne Störung j auf Normalroute m (Ohne-Fall)
Hinweis: Zur Verwendung der Verkehrsdaten für das Zeitintervall a^ , muss gewährleistet sein, dass sowohl auf der Normal-, als auch auf der Alternativroute keine Störungen vorliegen. Bei der Auswahl des Zeitintervall a^* vergleichbare Tageszeiträume und Wochentage wählen.*
- Ausfahrende Pkw in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt S
 je Zeitintervall a^* ohne Störung $QA_{O_P A_S, j, a^*}$

- Ausfahrende Lkw in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt S
je Zeitintervall a^* ohne Störung $QAO_{L A_{S,j,a^*}}$
- für Intervalle a mit Störung j auf Normalroute m (Mit-Fall)
 - Ausfahrende Pkw auf Alternativroute am Entscheidungspunkt S
je Zeitintervall a mit Störung j $QAM_{P A_{S,j,a}}$
 - Ausfahrende Lkw auf Alternativroute am Entscheidungspunkt S
je Zeitintervall a mit Störung j $QAM_{L A_{S,j,a}}$
- Abkürzungen:
 - Ausfahrende in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt für Anwendungsfall A ohne Störung (Ohne-Fall) → QAO
 - Ausfahrende in Richtung Alternativroute am Entscheidungspunkt für Anwendungsfall A mit Störung (Mit-Fall) → QAM

3.5.2.2 Ergebnis

Hinweis: Beeinflusste Verkehrsteilnehmende im Sinne von mit der Störungsinformation erreichte Verkehrsteilnehmende, die aufgrund der Störungsinformation von der Normalroute auf die Alternativroute wechseln.

- Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Pkw über alle Zeitintervalle a mit Störung j

$$QA_{P,j,a} = \sum_{a=1}^n (QAM_{P A_{S,j,a}} - QAO_{P A_{S,j,a^*}})$$

- Beeinflusste Verkehrsteilnehmende Lkw über alle Zeitintervalle a mit Störung j

$$QA_{L,j,a} = \sum_{a=1}^n (QAM_{L A_{S,j,a}} - QAO_{L A_{S,j,a^*}})$$

- Zeitvorteil je Pkw auf Alternativroute k mit Störung j im Zeitintervall a

$$ZVA_{P,j,a} = T_{P,i,m,j,a} + TVST_{Kfz,j,a} - T_{P,i,k,j,a}$$

- Zeitvorteil je Lkw auf Alternativroute k mit Störung j im Zeitintervall a

$$ZVA_{L,j,a} = T_{L,i,m,j,a} + TVST_{Kfz,j,a} - T_{L,i,k,j,a}$$

- Mindestzeitvorteil für Kfz auf Alternativroute bei Störung j $minZVA_{Kfz,k} = 10 \text{ min}$

Hinweis: Der Zeitvorteil je Pkw wird als maßgebend für den hier definierten Mindestzeitvorteil (bezogen auf die Kfz auf der Alternativroute) angesehen.

- Bedingung für Alternativroutenempfehlung $ZVA_{P,j,a} > minZVA_{Kfz,k}$

- Zeitvorteil für alle bei Nutzung der Alternativroute

- Zeitvorteil aller Pkw über alle Zeitintervalle mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QA_{P,j,a} * ZVA_{P,j,a})$$

- Zeitvorteil aller Lkw über alle Zeitintervalle mit Störung j

$$\sum_{a=1}^n (QA_{L,j,a} * ZVA_{L,j,a})$$

Anlage 3, Blatt 18

3.6 Schritt A6 Aktivierung der Alternativroute

3.6.1 Eingangsgrößen

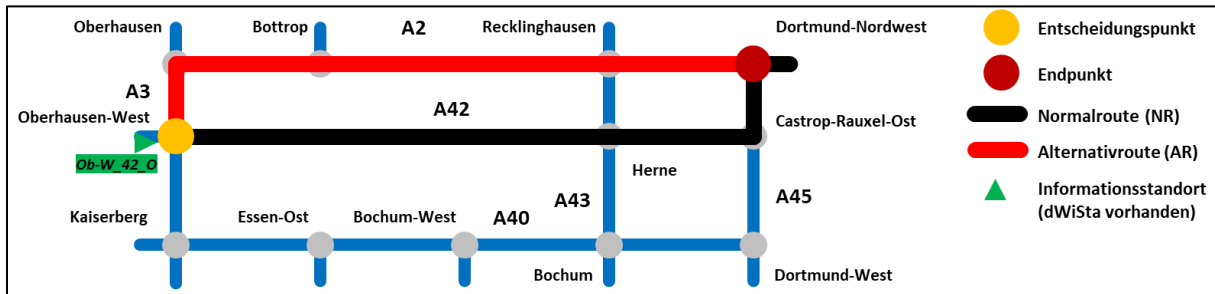
- Je Wochentag 30 Minuten- Intervall a^* , $a^* = 1 \dots n$
Hinweis: nur Intervalle in Zeiträumen ohne Störung auf Alternativroute k , damit eine empfohlene Alternativroute nicht über eine Störung verläuft.
- Restkapazität auf Alternativroute k in 30 Minuten-Intervallen a^* , $a^* = 1 \dots n$ $RC_{Kfz}KE_{p,a^*}$
- Zusätzliches Verkehrsaufkommen auf Alternativroute k je Zeitintervall a mit Störung j
 $QA_{Kfz,j,a} = QA_{p,j,a} + QA_{L,j,a}$

3.6.2 Ergebnis

- Ausweisung der Alternativroute, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:
 - $RC_{Kfz}KE_{p,a^*} > QA_{Kfz,j,a}$

Anlage 3 Verkehrsbelastung aus den Netzspinnen des Netzmodells für die Bundesfernstraßenplanung (NEMOBFStr) zur Praxisanwendung des Wirksamkeitsanalyseverfahren

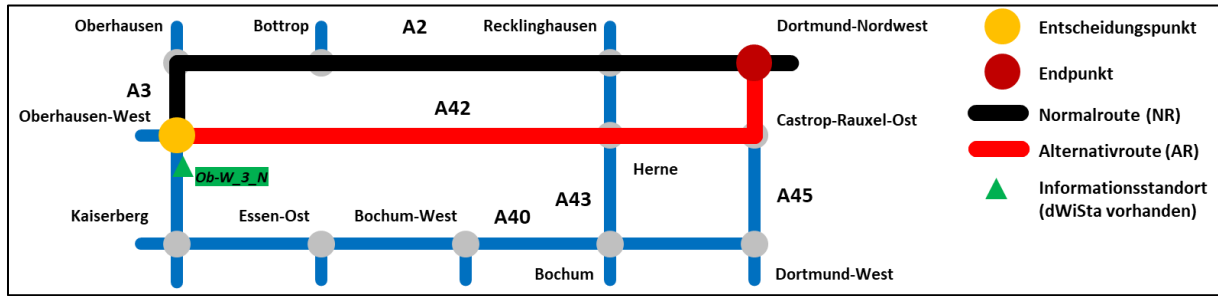
Netzmasche 1



BAB	AS_von	Abschnitt_von	AS_bis	Abschnitt_bis	Verkehrsbelastung Querschnitt		Richtungsfahrbahn Verkehrsbelastung FR N/O		Netzmasche 1 Oberhausen-West (A42 Rtg. O) → Dortmund-Nordwest					
					DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	Route	Netzspinne Kfz	Anteil Kfz	Netzspinne SV	Anteil SV	
<i>Verkehrsteilnehmende am Informationsstandort</i>										97.700		10.390		
<i>Einfahrende in Normalroute</i>										62.500	64%	6.510	63%	
A3	12	AK Oberhausen-West	11	AS Oberhausen-Holten	167.900	21.290	84.300	10.080	AR	29.900		3.110		
A3	11	AS Oberhausen-Holten	10	AK Oberhausen	169.200	20.050	83.400	9.320	AR	26.600		2.850		
A2	1	AK Oberhausen	2	AS Oberhausen-Königshardt	158.300	18.680	78.700	9.090	AR	25.600		2.720		
A2	2	AS Oberhausen-Königshardt	3	AS Bottrop	166.900	17.610	83.100	9.200	AR	25.500		2.710		
A2	3	AS Bottrop	3	AD Bottrop	168.400	17.870	83.100	9.130	AR	22.300		2.430		
A2	3	AD Bottrop	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	131.700	16.460	64.400	8.760	AR	18.600		2.220		
A2	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	5	AS Essen/Gladbeck	144.000	17.790	72.100	9.400	AR	20.200		2.390		
A2	5	AS Essen/Gladbeck	6	AS Gelsenkirchen-Buer	118.900	15.080	59.500	7.940	AR	16.600		1.990		
A2	6	AS Gelsenkirchen-Buer	7	AS Herten	127.300	16.180	63.100	8.420	AR	15.200		1.800		
A2	7	AS Herten	8	AK Recklinghausen	133.100	16.540	66.100	8.590	AR	13.900		1.710		
A2	8	AK Recklinghausen	9	AS Recklinghausen-Süd	127.400	16.530	63.700	8.380	AR	12.400		1.580		
A2	9	AS Recklinghausen-Süd	10	AS Recklinghausen-Ost	129.400	16.550	64.700	8.340	AR	12.300		1.570		
A2	10	AS Recklinghausen-Ost	11	AS Henrichenburg	125.500	15.770	62.700	7.780	AR	11.200		1.490		
A2	11	AS Henrichenburg	12	AK Dortmund-Nordwest	131.300	15.110	65.700	7.360	AR	10.200		1.430		
A42	8	AK Oberhausen-West	9	AS Oberhausen-Buschhausen	162.900	19.560	82.800	10.970	NR	62.500	100%	6.510	100%	
A42	9	AS Oberhausen-Buschhausen	10	AS Oberhausen-Zentrum	152.800	19.060	76.800	10.480	NR	55.400	89%	5.830	90%	
A42	10	AS Oberhausen-Zentrum	11	AS Oberhausen-Neue Mitte	144.600	18.600	71.000	9.420	NR	39.500	63%	4.090	63%	
A42	11	AS Oberhausen-Neue Mitte	12	AS Bottrop-Süd	148.500	17.940	73.800	9.080	NR	36.900	59%	3.810	59%	
A42	12	AS Bottrop-Süd	13	AK Essen-Nord	132.400	18.920	65.700	9.460	NR	31.600	51%	3.590	55%	
A42	13	AK Essen-Nord	14	AS Essen-Altenessen	149.900	20.800	74.700	10.290	NR	27.200	44%	2.750	42%	
A42	14	AS Essen-Altenessen	15	AS Gelsenkirchen-Heßler	153.700	20.800	75.700	10.260	NR	26.800	43%	2.670	41%	
A42	15	AS Gelsenkirchen-Heßler	16	AS Gelsenkirchen-Zentrum	142.900	19.170	71.100	9.510	NR	25.500	41%	2.460	38%	
A42	16	AS Gelsenkirchen-Zentrum	17	AS Gelsenkirchen-Schalke	129.800	20.070	64.600	10.010	NR	22.200	36%	2.230	34%	
A42	17	AS Gelsenkirchen-Schalke	18	AS Gelsenkirchen-Bismarck	131.600	19.980	65.500	9.980	NR	22.000	35%	2.230	34%	
A42	18	AS Gelsenkirchen-Bismarck	19	AS Herne-Wanne	134.900	20.000	67.200	9.980	NR	21.700	35%	2.180	33%	
A42	19	AS Herne-Wanne	20	AS Herne-Crange	124.500	20.150	61.900	10.070	NR	19.300	31%	2.010	31%	
A42	20	AS Herne-Crange	21	AK Herne	126.400	21.530	63.000	10.780	NR	18.200	29%	1.930	30%	
A42	21	AK Herne	22	AS Herne-Baukau	80.900	12.400	40.500	6.240	NR	9.700	16%	580	9%	
A42	22	AS Herne-Baukau	23	AS Herne-Horsthausen	75.200	11.200	37.600	5.590	NR	9.500	15%	560	9%	
A42	23	AS Herne-Horsthausen	24	AS Herne-Börnig	73.500	9.970	36.800	4.890	NR	9.500	15%	490	8%	
A42	24	AS Herne-Börnig	25	AS Castrop-Rauxel-Bladenhorst	72.600	9.960	36.400	4.880	NR	9.300	15%	490	8%	
A42	25	AS Castrop-Rauxel-Bladenhorst	26	AS Castrop-Rauxel	75.400	10.200	37.800	4.980	NR	9.100	15%	470	7%	
A42	26	AS Castrop-Rauxel	27	AK Castrop-Rauxel-Ost	90.000	9.580	44.800	4.580	NR	8.900	14%	440	7%	
A45	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	2	AK Dortmund-Nordwest	105.100	12.730	52.600	6.220	NR	4.800	8%	330	5%	

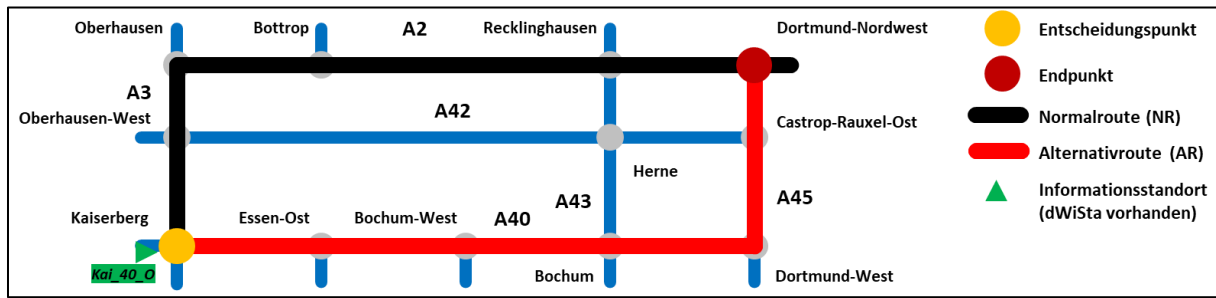
Anlage 3, Blatt 2

Netzmasche 2



BAB	AS_von	Abschnitt_von	AS_bis	Abschnitt_bis	Verkehrsbelastung Querschnitt		Richtungsfahrbahn Verkehrsbelastung FR N/O		Netzmasche 2 Oberhausen-West (A3 Rtg. N) → Dortmund-Nordwest			
					DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	Netzspinne Kfz	Anteil Kfz	Netzspinne SV	Anteil SV
<i>Verkehrsteilnehmende am Informationsstandort</i>									78.200		11.720	
<i>Einfahrende in Normalroute</i>									53.200	68%	6.690	57%
A3	12	AK Oberhausen-West	11	AS Oberhausen-Holten	167.900	21.290	84.300	10.080	53.300	100%	6.690	100%
A3	11	AS Oberhausen-Holten	10	AK Oberhausen	169.200	20.050	83.400	9.320	45.700	86%	5.650	84%
A2	1	AK Oberhausen	2	AS Oberhausen-Königshardt	158.300	18.680	78.700	9.090	26.600	50%	3.980	59%
A2	2	AS Oberhausen-Königshardt	3	AS Bottrop	166.900	17.610	83.100	9.200	23.600	44%	3.780	57%
A2	3	AS Bottrop	3	AD Bottrop	168.400	17.870	83.100	9.130	21.600	41%	3.500	52%
A2	3	AD Bottrop	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	131.700	16.460	64.400	8.760	7.500	14%	1.850	28%
A2	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	5	AS Essen/Gladbeck	144.000	17.790	72.100	9.400	7.800	15%	1.910	29%
A2	5	AS Essen/Gladbeck	6	AS Gelsenkirchen-Buer	118.900	15.080	59.500	7.940	4.800	9%	810	12%
A2	6	AS Gelsenkirchen-Buer	7	AS Herten	127.300	16.180	63.100	8.420	4.400	8%	670	10%
A2	7	AS Herten	8	AK Recklinghausen	133.100	16.540	66.100	8.590	4.100	8%	610	9%
A2	8	AK Recklinghausen	9	AS Recklinghausen-Süd	127.400	16.530	63.700	8.380	3.200	6%	460	7%
A2	9	AS Recklinghausen-Süd	10	AS Recklinghausen-Ost	129.400	16.550	64.700	8.340	3.100	6%	450	7%
A2	10	AS Recklinghausen-Ost	11	AS Henrichenburg	125.500	15.770	62.700	7.780	2.700	5%	370	6%
A2	11	AS Henrichenburg	12	AK Dortmund-Nordwest	131.300	15.110	65.700	7.360	2.000	4%	300	4%
A42	8	AK Oberhausen-West	9	AS Oberhausen-Buschhausen	162.900	19.560	82.800	10.970	19.300		4.180	
A42	9	AS Oberhausen-Buschhausen	10	AS Oberhausen-Zentrum	152.800	19.060	76.800	10.480	19.300		4.170	
A42	10	AS Oberhausen-Zentrum	11	AS Oberhausen-Neue Mitte	144.600	18.600	71.000	9.420	14.000		3.470	
A42	11	AS Oberhausen-Neue Mitte	12	AS Bottrop-Süd	148.500	17.940	73.800	9.080	13.300		3.250	
A42	12	AS Bottrop-Süd	13	AK Essen-Nord	132.400	18.920	65.700	9.460	9.500		2.950	
A42	13	AK Essen-Nord	14	AS Essen-Altenessen	149.900	20.800	74.700	10.290	8.700		2.800	
A42	14	AS Essen-Altenessen	15	AS Gelsenkirchen-Heßler	153.700	20.800	75.700	10.260	8.600		2.760	
A42	15	AS Gelsenkirchen-Heßler	16	AS Gelsenkirchen-Zentrum	142.900	19.170	71.100	9.510	8.000		2.630	
A42	16	AS Gelsenkirchen-Zentrum	17	AS Gelsenkirchen-Schalke	129.800	20.070	64.600	10.010	7.100		2.540	
A42	17	AS Gelsenkirchen-Schalke	18	AS Gelsenkirchen-Bismarck	131.600	19.980	65.500	9.980	7.000		2.540	
A42	18	AS Gelsenkirchen-Bismarck	19	AS Herne-Wanne	134.900	20.000	67.200	9.980	6.900		2.520	
A42	19	AS Herne-Wanne	20	AS Herne-Crange	124.500	20.150	61.900	10.070	6.400		2.420	
A42	20	AS Herne-Crange	21	AK Herne	126.400	21.530	63.000	10.780	6.100		2.370	
A42	21	AK Herne	22	AS Herne-Baukau	80.900	12.400	40.500	6.240	5.500		2.140	
A42	22	AS Herne-Baukau	23	AS Herne-Horsthausen	75.200	11.200	37.600	5.590	5.400		2.120	
A42	23	AS Herne-Horsthausen	24	AS Herne-Börnig	73.500	9.970	36.800	4.890	5.200		2.070	
A42	24	AS Herne-Börnig	25	AS Castrop-Rauxel-Bladenhorst	72.600	9.960	36.400	4.880	5.200		2.070	
A42	25	AS Castrop-Rauxel-Bladenhorst	26	AS Castrop-Rauxel	75.400	10.200	37.800	4.980	5.100		2.060	
A42	26	AS Castrop-Rauxel	27	AK Castrop-Rauxel-Ost	90.000	9.580	44.800	4.580	5.100		2.020	
A45	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	2	AK Dortmund-Nordwest	105.100	12.730	52.600	6.220	4.800		1.550	

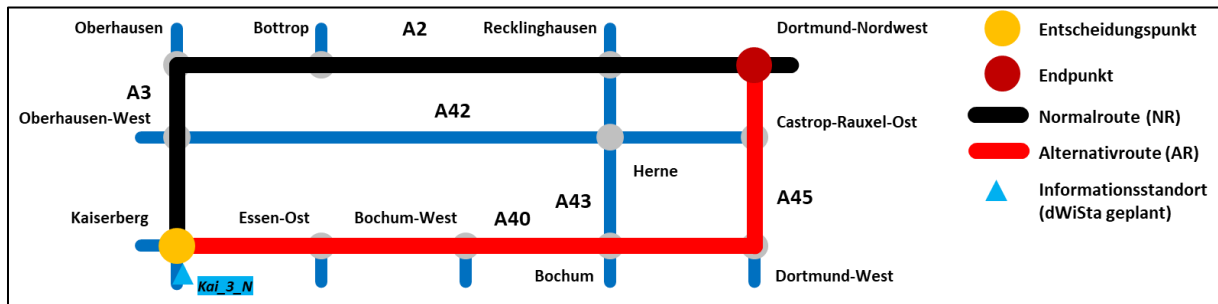
Netzmasche 3



BAB	AS_von	Abschnitt_von	AS_bis	Abschnitt_bis	Verkehrsbelastung Querschnitt		Richtungsfahrbahn Verkehrsbelastung FR N/O		Netzmasche 3 Kaiserberg (A40 Rtg. O) → Dortmund-Nordwest			
					DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	Netzspinne Kfz	Anteil Kfz	Netzspinne SV	Anteil SV
<i>Verkehrsteilnehmende am Informationsstandort</i>									66.700		12.930	
<i>Einfahrende in Normalroute</i>									21.400	32%	5.730	44%
A3	14	AK Kaiserberg	13	AS Oberhausen-Lirich	153.700	24.130	77.100	12.100	21.400	100%	5.730	100%
A3	13	AS Oberhausen-Lirich	12	AK Oberhausen-West	153.300	23.060	78.200	11.720	19.700	92%	5.560	97%
A3	12	AK Oberhausen-West	11	AS Oberhausen-Holten	167.900	21.290	84.300	10.080	12.300	57%	2.820	49%
A3	11	AS Oberhausen-Holten	10	AK Oberhausen	169.200	20.050	83.400	9.320	11.300	53%	2.550	45%
A2	1	AK Oberhausen	2	AS Oberhausen-Königshardt	158.300	18.680	78.700	9.090	9.800	46%	2.320	40%
A2	2	AS Oberhausen-Königshardt	3	AS Bottrop	166.900	17.610	83.100	9.200	9.500	44%	2.310	40%
A2	3	AS Bottrop	3	AD Bottrop	168.400	17.870	83.100	9.130	8.900	42%	2.190	38%
A2	3	AD Bottrop	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	131.700	16.460	64.400	8.760	5.500	26%	1.460	25%
A2	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	5	AS Essen/Gladbeck	144.000	17.790	72.100	9.400	5.700	27%	1.510	26%
A2	5	AS Essen/Gladbeck	6	AS Gelsenkirchen-Buer	118.900	15.080	59.500	7.940	2.000	9%	300	5%
A2	6	AS Gelsenkirchen-Buer	7	AS Herten	127.300	16.180	63.100	8.420	1.900	9%	230	4%
A2	7	AS Herten	8	AK Recklinghausen	133.100	16.540	66.100	8.590	1.700	8%	190	3%
A2	8	AK Recklinghausen	9	AS Recklinghausen-Süd	127.400	16.530	63.700	8.380	1.200	6%	120	2%
A2	9	AS Recklinghausen-Süd	10	AS Recklinghausen-Ost	129.400	16.550	64.700	8.340	1.100	5%	110	2%
A2	10	AS Recklinghausen-Ost	11	AS Henrichenburg	125.500	15.770	62.700	7.780	900	4%	70	1%
A2	11	AS Henrichenburg	12	AK Dortmund-Nordwest	131.300	15.110	65.700	7.360	500	2%	40	1%
A40	14	AK Kaiserberg	15	AS Mülheim a.d.R.	135.600	15.010	66.600	7.760	30.000		3.960	
A40	15	AS Mülheim a.d.R.	16	AS Mülheim a.d.R.-Styrum	111.500	13.940	54.800	7.010	25.100		3.590	
A40	16	AS Mülheim a.d.R.-Styrum	17	AS Mülheim a.d.R.-Dümpten	99.400	13.640	47.300	6.620	22.600		3.410	
A40	17	AS Mülheim a.d.R.-Dümpten	18	AS Mülheim a.d.R.-Winkhausen	121.100	13.860	61.700	7.050	20.400		2.990	
A40	18	AS Mülheim a.d.R.-Winkhausen	19	AS Mülheim a.d.R.-Heißen	107.100	13.550	54.200	6.820	16.500		2.650	
A40	19	AS Mülheim a.d.R.-Heißen	20	AS Mülheim a.d.R.-Heimaterde	130.800	14.950	65.500	7.410	16.100		2.590	
A40	20	AS Mülheim a.d.R.-Heimaterde	21	AS Essen-Frohnhausen	130.800	14.950	65.500	7.410	16.100		2.590	
A40	21	AS Essen-Frohnhausen	22	AS Essen-Holsterhausen	93.700	10.880	46.700	5.220	15.000		2.430	
A40	22	AS Essen-Holsterhausen	23	AS Essen-Zentrum	107.400	12.080	53.500	5.820	14.800		2.370	
A40	23	AS Essen-Zentrum	24	AS Essen-Huttrop	77.800	11.050	38.700	5.370	12.500		1.980	
A40	24	AS Essen-Huttrop	25	AD Essen-Ost	85.600	10.670	43.500	5.100	12.300		1.890	
A40	25	AD Essen-Ost	26	AS Essen-Frillendorf	159.900	16.850	79.700	8.410	11.500		1.750	
A40	26	AS Essen-Frillendorf	27	AS Essen-Kray	164.300	16.140	82.000	8.040	11.200		1.660	
A40	27	AS Essen-Kray	28	AS Gelsenkirchen-Süd	176.500	17.310	87.800	8.490	11.100		1.620	
A40	28	AS Gelsenkirchen-Süd	29	AS Bochum-Wattenscheid-West	161.500	16.310	81.100	8.040	10.900		1.600	
A40	29	AS Bochum-Wattenscheid-West	30	AS Bochum-Wattenscheid	161.200	15.260	80.900	7.450	10.200		1.510	
A40	30	AS Bochum-Wattenscheid	31	AS Bochum-Dückerweg	128.400	12.990	64.800	6.310	8.200		1.310	
A40	31	AS Bochum-Dückerweg	32	AD Bochum-West	128.500	12.990	64.800	6.310	8.200		1.310	
A40	32	AD Bochum-West	33	AS Bochum-Hamme	97.200	10.170	48.800	4.890	5.300		970	
A40	33	AS Bochum-Hamme	34	AS Bochum-Freudenbergstrasse	85.100	9.230	42.700	4.510	5.000		930	
A40	34	AS Bochum-Freudenbergstrasse	35	AS Bochum-Zentrum	85.100	9.230	42.700	4.510	5.000		930	
A40	35	AS Bochum-Zentrum	36	AS Bochum-Stadion	79.000	8.960	39.600	4.480	4.800		890	
A40	36	AS Bochum-Stadion	37	AS Bochum-Harpen	82.100	9.190	41.300	4.650	4.800		890	
A40	37	AS Bochum-Harpen	38	AK Bochum	93.900	8.980	46.800	4.220	4.600		850	
A40	38	AK Bochum	39	AS Bochum-Werne	116.000	12.810	57.000	5.980	4.500		830	
A40	39	AS Bochum-Werne	40	AS Dortmund-Lütgendortmund	113.400	12.220	55.700	5.660	4.400		800	
A40	40	AS Dortmund-Lütgendortmund	41	AS Dortmund-Kley	100.100	11.830	49.400	5.540	4.300		790	
A40	41	AS Dortmund-Kley	42	AK Dortmund-West	102.400	12.850	50.200	5.990	4.200		780	
A45	5	AK Dortmund-West	4	AS Dortmund-Hafen	95.300	10.960	48.300	5.470	700		540	
A45	4	AS Dortmund-Hafen	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	102.200	11.120	51.300	5.610	900		560	
A45	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	2	AK Dortmund-Nordwest	105.100	12.730	52.600	6.220	3.900		1.380	

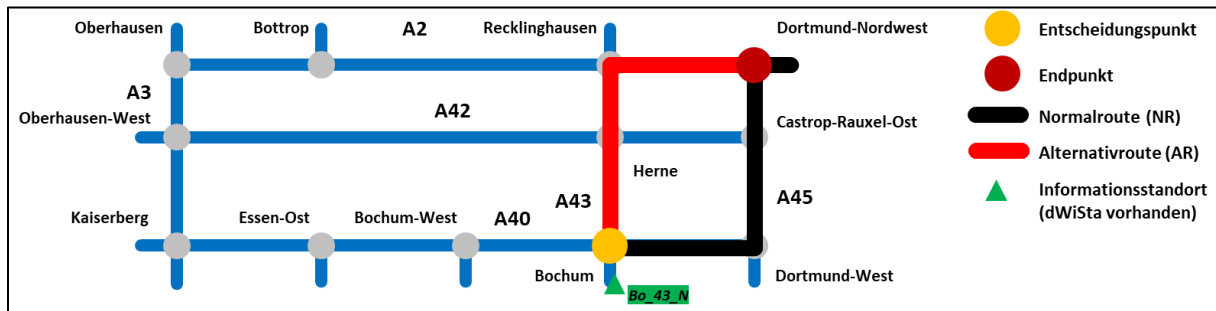
Anlage 3, Blatt 4

Netzmasche 4



BAB	AS_von	Abschnitt_von	AS_bis	Abschnitt_bis	Verkehrsbelastung Querschnitt		Richtungsfahrbahn Verkehrsbelastung FR N/O		Netzmasche 4 Kaiserberg (A3 Rtg. N) → Dortmund-Nordwest				
					DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	Route	Netzspinne Kfz	Anteil Kfz	Netzspinne SV	Anteil SV
<i>Verkehrsteilnehmende am Informationsstandort</i>										83.800		9.870	
<i>Einfahrende in Normalroute</i>										49.400	59%	4.970	50%
A3	14	AK Kaiserberg	13	AS Oberhausen-Lirich	153.700	24.130	77.100	12.100	NR	49.400	100%	4.970	100%
A3	13	AS Oberhausen-Lirich	12	AK Oberhausen-West	153.300	23.060	78.200	11.720	NR	45.700	93%	4.360	88%
A3	12	AK Oberhausen-West	11	AS Oberhausen-Holten	167.900	21.290	84.300	10.080	NR	35.500	72%	3.060	62%
A3	11	AS Oberhausen-Holten	10	AK Oberhausen	169.200	20.050	83.400	9.320	NR	31.200	63%	2.520	51%
A2	1	AK Oberhausen	2	AS Oberhausen-Königshardt	158.300	18.680	78.700	9.090	NR	15.100	31%	1.330	27%
A2	2	AS Oberhausen-Königshardt	3	AS Bottrop	166.900	17.610	83.100	9.200	NR	12.500	25%	1.180	24%
A2	3	AS Bottrop	3	AD Bottrop	168.400	17.870	83.100	9.130	NR	11.300	23%	1.070	22%
A2	3	AD Bottrop	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	131.700	16.460	64.400	8.760	NR	1.300	3%	220	4%
A2	4	AS Gladbeck-Ellinghorst	5	AS Essen/Gladbeck	144.000	17.790	72.100	9.400	NR	1.400	3%	230	5%
A2	5	AS Essen/Gladbeck	6	AS Gelsenkirchen-Buer	118.900	15.080	59.500	7.940	NR	1.800	4%	300	6%
A2	6	AS Gelsenkirchen-Buer	7	AS Herten	127.300	16.180	63.100	8.420	NR	1.600	3%	250	5%
A2	7	AS Herten	8	AK Recklinghausen	133.100	16.540	66.100	8.590	NR	1.600	3%	240	5%
A2	8	AK Recklinghausen	9	AS Recklinghausen-Süd	127.400	16.530	63.700	8.380	NR	1.300	3%	190	4%
A2	9	AS Recklinghausen-Süd	10	AS Recklinghausen-Ost	129.400	16.550	64.700	8.340	NR	1.300	3%	190	4%
A2	10	AS Recklinghausen-Ost	11	AS Henrichenburg	125.500	15.770	62.700	7.780	NR	1.000	2%	160	3%
A2	11	AS Henrichenburg	12	AK Dortmund-Nordwest	131.300	15.110	65.700	7.360	NR	900	2%	140	3%
A40	14	AK Kaiserberg	15	AS Mülheim a.d.R.	135.600	15.010	66.600	7.760	AR	18.700		1.860	
A40	15	AS Mülheim a.d.R.	16	AS Mülheim a.d.R.-Styrum	111.500	13.940	54.800	7.010	AR	11.800		1.560	
A40	16	AS Mülheim a.d.R.-Styrum	17	AS Mülheim a.d.R.-Dümpten	99.400	13.640	47.300	6.620	AR	7.900		1.300	
A40	17	AS Mülheim a.d.R.-Dümpten	18	AS Mülheim a.d.R.-Winkhausen	121.100	13.860	61.700	7.050	AR	5.600		750	
A40	18	AS Mülheim a.d.R.-Winkhausen	19	AS Mülheim a.d.R.-Heißen	107.100	13.550	54.200	6.820	AR	3.400		460	
A40	19	AS Mülheim a.d.R.-Heißen	20	AS Mülheim a.d.R.-Heimaterde	130.800	14.950	65.500	7.410	AR	3.400		460	
A40	20	AS Mülheim a.d.R.-Heimaterde	21	AS Essen-Frohnhausen	130.800	14.950	65.500	7.410	AR	3.400		460	
A40	21	AS Essen-Frohnhausen	22	AS Essen-Holsterhausen	93.700	10.880	46.700	5.220	AR	1.900		220	
A40	22	AS Essen-Holsterhausen	23	AS Essen-Zentrum	107.400	12.080	53.500	5.820	AR	1.900		220	
A40	23	AS Essen-Zentrum	24	AS Essen-Huttrop	77.800	11.050	38.700	5.370	AR	1.000		160	
A40	24	AS Essen-Huttrop	25	AD Essen-Ost	85.600	10.670	43.500	5.100	AR	800		140	
A40	25	AD Essen-Ost	26	AS Essen-Frillendorf	159.900	16.850	79.700	8.410	AR	800		120	
A40	26	AS Essen-Frillendorf	27	AS Essen-Kray	164.300	16.140	82.000	8.040	AR	700		110	
A40	27	AS Essen-Kray	28	AS Gelsenkirchen-Süd	176.500	17.310	87.800	8.490	AR	700		110	
A40	28	AS Gelsenkirchen-Süd	29	AS Bochum-Wattenscheid-West	161.500	16.310	81.100	8.040	AR	700		100	
A40	29	AS Bochum-Wattenscheid-West	30	AS Bochum-Wattenscheid	161.200	15.260	80.900	7.450	AR	700		90	
A40	30	AS Bochum-Wattenscheid	31	AS Bochum-Dückerweg	128.400	12.990	64.800	6.310	AR	500		70	
A40	31	AS Bochum-Dückerweg	32	AD Bochum-West	128.500	12.990	64.800	6.310	AR	500		70	
A40	32	AD Bochum-West	33	AS Bochum-Hamme	97.200	10.170	48.800	4.890	AR	300		50	
A40	33	AS Bochum-Hamme	34	AS Bochum-Freudenbergstrasse	85.100	9.230	42.700	4.510	AR	300		40	
A40	34	AS Bochum-Freudenbergstrasse	35	AS Bochum-Zentrum	85.100	9.230	42.700	4.510	AR	300		40	
A40	35	AS Bochum-Zentrum	36	AS Bochum-Stadion	79.000	8.960	39.600	4.480	AR	200		40	
A40	36	AS Bochum-Stadion	37	AS Bochum-Harpen	82.100	9.190	41.300	4.650	AR	200		40	
A40	37	AS Bochum-Harpen	38	AK Bochum	93.900	8.980	46.800	4.220	AR	200		30	
A40	38	AK Bochum	39	AS Bochum-Werne	116.000	12.810	57.000	5.980	AR	200		30	
A40	39	AS Bochum-Werne	40	AS Dortmund-Lütgendortmund	113.400	12.220	55.700	5.660	AR	200		30	
A40	40	AS Dortmund-Lütgendortmund	41	AS Dortmund-Kley	100.100	11.830	49.400	5.540	AR	200		30	
A40	41	AS Dortmund-Kley	42	AK Dortmund-West	102.400	12.850	50.200	5.990	AR	200		30	
A45	5	AK Dortmund-West	4	AS Dortmund-Hafen	95.300	10.960	48.300	5.470	AR	200		40	
A45	4	AS Dortmund-Hafen	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	102.200	11.120	51.300	5.610	AR	200		40	
A45	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	2	AK Dortmund-Nordwest	105.100	12.730	52.600	6.220	AR	400		70	

Netzmasche 5



BAB	AS_von	Abschnitt_von	AS_bis	Abschnitt_bis	Verkehrsbelastung Querschnitt		Richtungsfahrbahn Verkehrsbelastung FR N/O		Netzmasche 5 Bochum (A43 Rtg. N) → Dortmund-Nordwest					
					DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	DTV _{w6} Kfz 2030	DTV _{w6} SV 2030	Route	Netzspinne Kfz	Anteil Kfz	Netzspinne SV	Anteil SV	
<i>Verkehrsteilnehmende am Informationsstandort</i>										57.200		6.340		
<i>Einfahrende in Normalroute</i>										2.700	5%	390	6%	
A40	38	AK Bochum	39	AS Bochum-Werne	116.000	12.810	57.000	5.980	NR	2.700	100%	390	100%	
A40	39	AS Bochum-Werne	40	AS Dortmund-Lütgendortmund	113.400	12.220	55.700	5.660	NR	2.600	96%	390	100%	
A40	40	AS Dortmund-Lütgendortmund	41	AS Dortmund-Kley	100.100	11.830	49.400	5.540	NR	2.600	96%	380	97%	
A40	41	AS Dortmund-Kley	42	AK Dortmund-West	102.400	12.850	50.200	5.990	NR	2.600	96%	380	97%	
A43	17	AK Bochum	17	AS Bochum-Gerthe	144.600	16.410	73.500	7.990	AR	50.500		5.370		
A43	17	AS Bochum-Gerthe	16	AS Bochum-Riemke	136.300	16.590	69.000	7.900	AR	41.200		4.950		
A43	16	AS Bochum-Riemke	15	AS Herne-Eickel	146.500	17.890	74.100	8.520	AR	37.100		4.700		
A43	15	AS Herne-Eickel	14	AK Herne	158.200	19.370	80.300	9.270	AR	35.000		4.410		
A43	14	AK Herne	13	AS Recklinghausen-Hochlarmark	124.000	14.630	62.900	6.870	AR	22.300		2.050		
A43	13	AS Recklinghausen-Hochlarmark	12	AK Recklinghausen	115.200	15.250	58.400	7.040	AR	20.500		1.960		
A45	5	AK Dortmund-West	4	AS Dortmund-Hafen	95.300	10.960	48.300	5.470	NR	1.200	44%	140	36%	
A45	4	AS Dortmund-Hafen	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	102.200	11.120	51.300	5.610	NR	1.100	41%	120	31%	
A45	3	AK Castrop-Rauxel-Ost	2	AK Dortmund-Nordwest	105.100	12.730	52.600	6.220	NR	900	33%	70	18%	