

# **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 321**

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving them a 3D appearance as if they are floating above a surface.

# Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

von

Volker Diegmann  
Heike Wursthorn  
Yvonne Breitenbach  
IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Ingo Düring  
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul

Jörg Schönharting  
TRC Transportation Research & Consulting GmbH,  
Stuttgart

Thomas Kraus  
pwp-systems GmbH, Bad Camberg

Patrick Klemm  
Rainer Voigt  
Ralf Kohlen  
VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH

Holger Löhner  
WVI GmbH, Braunschweig

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 321**

**bast**

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

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

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

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

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

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

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.

<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

### Bericht zum Forschungsprojekt: FE 70.0912/2015

Dynamisches umweltsensitives  
Verkehrsmanagement

### Fachbetreuung

Bentje Frerkes  
Jan Sauer

### Referat

Umweltschutz

### Herausgeber

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

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9331

ISBN 978-3-95606-481-4

Bergisch Gladbach, Februar 2020



## Kurzfassung – Abstract

### **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**

Vorhandene Systeme zum umweltsensitiven Verkehrsmanagement (UVM) in Braunschweig, Erfurt, Potsdam und Wittenberg sowie die Autobahn-Verkehrsbeeinflussungsanlage in der Steiermark wurden für Detailuntersuchungen ausgewählt.

Die Untersuchungen zeigen, dass die UVM-Systeme im Realbetrieb zuverlässig arbeiten, von Behörden, Wirtschaft und Bürgern akzeptiert und zur Minderung der Luftschadstoffbelastung beitragen sowie die umgesetzten Maßnahmen dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz entsprechen.

Anhand von Realdaten aus den Untersuchungsgebieten konnten die Maßnahmenwirkungen im Hinblick auf Schwellenwerte und Verkehrsverlagerungen sowie Veränderungen von Verkehrsfluss, Fahrzeiten, Emissionen, Verkehrssicherheit und Immissionen systematisiert und bewertet werden. Weiterhin wurde eine Evaluierung von Vorhersagen und eine Bewertung von Befolgungsraten durchgeführt.

Für Hotspots mit einem  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwert nahe am Grenzwert liegen die ermittelten Minderungen bei weichen Maßnahmen, wie Verkehrsverflüssigung und Zuflussdosierung, im einstelligen Prozentbereich. Bezogen auf  $\text{PM}_{10}$  liegt die ermittelte Reduzierung im Bereich weniger Überschreitungstage. Höhere Minderungen sind durch Verschärfung der Schwellenwerte oder Einbeziehung härterer Maßnahmen, wie z. B. Verkehrseinschränkungen oder Fahrverbote, erreichbar. Für Hotspots mit einer deutlichen Überschreitung der Grenzwerte sind ohnehin nur härtere UVM-Maßnahmen zielführend. Durch den umweltsensitiven Ansatz können Schwellenwerte und Maßnahmenwirkungen optimiert auf die Zielvorgaben angepasst werden.

Die Kosten- und Wirkungsanalysen zeigen, dass die umgesetzten UVM-Maßnahmen entweder ein gesamtwirtschaftlich positives Kosten-Nutzen-Verhältnis oder zumindest deutliche Vorteile zugunsten der gewählten temporären gegenüber einer dauerhaften Aktivierung haben.

Für die Behörden wurden Empfehlungen zum Aufbau und Einsatz von UVM-Systemen und -Maßnahmen in Abhängigkeit der örtlichen und immissionsseitigen Randbedingungen gegeben.

### **Dynamic environmentally sensitive traffic management**

In this project, existing environmentally sensitive traffic management (ETM) systems in Braunschweig, Erfurt, Potsdam and Wittenberg as well as a motorway traffic control system in Styria were selected for detailed investigations.

The study shows that the ETM systems operate reliably and are accepted by public authorities, industry and private road users alike. They help to reduce air pollution and the measures implemented comply with the principle of proportionality.

Based on operational data from the areas subject to investigation, it was possible to systematise and evaluate the effects of measures with regard to threshold values and traffic relocations. Changes in flow of traffic, journey times, emissions, road safety and concentrations were analysed as well. Furthermore, forecasts and levels of compliance were evaluated.

For hot spots with an  $\text{NO}_2$  annual mean value close to the limit value, the reductions determined for soft measures, such as improving the flow of traffic and controlling the inflow of traffic, are in the single-digit percentage range. In terms of the number of days on which  $\text{PM}_{10}$  limit values were exceeded, a reduction of a few days was recorded. Higher rates of reduction can be achieved by stricter threshold values and/or introducing hard measures such as traffic restrictions or driving bans. For hot spots with considerable exceedances of limit values, only hard ETM measures lead to the desired results anyway. The environmentally sensitive approach allows threshold values and effects of measures to be optimised with respect to the targets.

Cost and impact analyses show that the implemented ETM measures have either an overall positive cost-benefit ratio or are at least much more beneficial when comparing a dynamic activation with a permanent activation.

Recommendations were given to the authorities on the design and use of ETM systems and measures, depending on local boundary conditions.



## Summary

### Dynamic environmentally sensitive traffic management

#### Objective

Mobility is a cornerstone of economic growth and the ability to work and participate in society. However, the rising number of vehicles on the road is harming the environment due to increased levels of noise and air pollution.

To protect human health and the environment, limits were set for air pollutants by Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, which was implemented into German law by the 39th Federal Immission Control Ordinance (39th BImSchV).

To ensure that the limit values are observed, clean air plans and reduction measures have been and are continuing to be established. Due to the high proportion of pollution produced by road traffic, measures in this area are particularly important.

As a dynamic approach, environmentally sensitive traffic management (ETM) has become increasingly widespread in recent years as a way of ensuring that interventions in the flow of traffic are restricted to measures that are especially effective at helping the air quality limit values to be observed. These traffic management measures include:

- Driving bans for particular vehicle categories,
- Reduction in speed limits,
- Optimisation of traffic light controls so that there is a steadier flow of traffic,
- Control of the inflow of traffic at traffic lights to temporarily reduce the traffic volume,
- Rerouting signs with adapted traffic light controls that control traffic by advising drivers of alternative routes.

The use of ETM systems requires extensive traffic and environmental data to serve as input variables. Various models for analysing and predicting traffic and environmental situations (traffic and environment modules) are also used. The numerous ETM methods used in practice range from simple,

manually controlled, static systems to complex, automated, dynamic solutions.

The following list provides some examples of the aspects investigated during this research project:

- Effectiveness of the ETM systems implemented to date,
- Systems used to predict the concentration of air pollutants,
- Processes required to ensure that traffic and environment modules interact effectively and that synergies are created as a result of their inter-connection,
- Correlation between the cost and effectiveness of ETM systems,
- Influence of ETM systems on the concentration of nitrogen dioxide and particulate matter, on noise pollution levels, on CO<sub>2</sub> emissions and on fuel consumption,
- Impact of ETM systems on regional and national traffic.

#### Method

The first step was to write a detailed description of all the ETM systems known at the start of the project. This report was to form the basis of the investigations. In particular, this report summarised the areas subject to investigation, the hot spots (geographical location, environmental and traffic situation), the planned and existing ETM systems (traffic module, environment module and their interaction), an overview of measures, triggers for the activation of measures and the available data. The following areas subject to investigation were considered during this process: Berlin, Braunschweig, Erfurt, Potsdam, Weimar, Rostock, Lutherstadt Wittenberg, Hagen, Cologne and two motorways in Austria.

In addition to the research conducted in the areas subject to investigation, a market analysis of further German and international ETM systems described in German and English publications was conducted. These systems were either in the planning stage, currently in use, under investigation or non-active.

From this group of areas subject to investigation, the areas in which the aforementioned aspects of the research project could be analysed the most effectively were selected. These went on to form the

basis for the subsequent research activities. The next stage was to conduct an admissibility check and to define 8 target fields with a total of 40 indicators. The value attributes of these indicators were then determined for all the areas subject to investigation. An analysis of the indicators was used to draw up a proposal concerning the areas subject to investigation to be examined during the project. The proposal was then agreed with the client. The following five areas subject to investigation were selected for further research: Braunschweig, Erfurt, Potsdam, Lutherstadt Wittenberg and Styria (Austria).

The next step was to analyse the legal framework for dynamic environmentally sensitive traffic management with regard to the assessment of the air and noise pollution and the compliance of measures with the legislative framework in accordance with the principle of proportionality (legitimacy, suitability, necessity and reasonableness) and to discuss it for the measures implemented in the five areas subject to investigation. A list was also made of aspects concerning infringement proceedings following the non-observance of the limit values (out-of-court preliminary proceedings, court proceedings, the national bearing of charges, penalties paid) and of matters concerning legal action taken and court rulings. The analysis of the legal framework was used to determine indicators for evaluating ETM measures.

Practical experience with ETM systems was investigated on a general basis by looking at data from the four areas in Germany subject to investigation: Braunschweig, Erfurt, Potsdam and Lutherstadt Wittenberg. Initial information was provided by a survey of clients and operators (questionnaire, in-depth telephone interview). The questions asked focused on the following: general matters, investment and operating costs, effectiveness, acceptance of the ETM measures, potential synergies when connecting ETM and TM, problems with interactions between ETM and TM. Some of the results were considered during the cost and impact analysis.

As the main area of focus of the research project, the following individual aspects were analysed in detail using the extensive data obtained from the areas subject to investigation:

- analysis of threshold values that act as triggers for measures,
- analysis of the availability of input data for modelling purposes,
- analysis of the quality of input data,
- investigation of temporal resolution requirements,
- evaluation of forecasts and
- analysis of the levels of compliance.

Evaluation results from extensive preliminary investigations were available for the individual areas subject to investigation. These were prepared in a structured manner. The first step was to describe the approach taken to evaluate the traffic and environmental aspects. The results obtained were then presented with regard to the established ETM system and the implemented and planned measures, taking into account an analysis of the impact on traffic and air quality. The results of the preliminary investigations were then summarised.

During an analysis of threshold values that trigger measures, the activation and NO<sub>2</sub> reduction rates for the base case and for fictitious model cases were investigated with corresponding parameter variations. The following threshold values were varied during this analysis: NO<sub>2</sub> concentration, traffic volume, traffic conditions (traffic situation) and combinations.

Proper and efficient traffic and environmental modelling during dynamic environmentally sensitive traffic management requires the use of numerous models supplied with a wide range of input data. During the analysis of the availability of input data for the modelling, an overview of the traffic, emissions and dispersion models used in the areas subject to investigation was created, taking into account the timescales of the calculations (monitoring, short-term and medium-term forecasts). The input data used for the traffic, emissions and dispersion modelling was also presented.

The analysis of the quality of input data was used to investigate the impact of a change in the quality of selected input data on the quality of the results obtained by the emissions and dispersion modelling in the environment modules. An analysis was conducted into how the calculated results were affected by the proportion of heavy goods vehicles,

- evaluation results from preliminary investigations,

by the calculation method for determining a traffic situation compliant with the Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) and by meteorological parameters when using dispersion models and statistical prediction models.

Air quality limit values refer to one calendar year. Concentration measurements are evaluated in terms of hourly (NO<sub>2</sub>) and daily (PM10) mean values. The volume of road traffic is subject to similar daily and weekly trends, influenced by disruptions of varying duration. Strategic and operational traffic management measures and traffic information measures are activated at different time intervals. These different intervals considered were used to determine the temporal resolution requirements for traffic and environment modelling and the resulting requirements for the temporal resolution of the input data.

While the decision about activating ETM measures needs to be made for the future, only data from the past are available to help determine current traffic and environmental situations. This makes the use of prediction models all the more important. Therefore, in order to evaluate forecasts, different forecasting approaches taking into account traffic, weather and environmental factors (pollutant concentrations at the hot spot and in the background) were evaluated by comparing the predicted levels and actual levels. Investigations were also conducted into the extent to which monitoring the pollutant concentration with proactive threshold values leads to different reduction potentials than predicting the pollutant load.

The effectiveness of particular types of ETM measures depends in large part on how fully road users comply with them. The analysis of compliance rates began with the systematic collation of qualitative evidence of the compliance rates for existing ETM systems. The ETM measures whose effectiveness was impacted by the compliance rate were then identified. The available data was used to investigate the following measures in particular with regard to compliance rates: rerouting of heavy goods vehicles, speed limit reductions and a choice of transportation (park & ride, information boards).

An interim report in the form of a summary of the impact of the measures was compiled for the selected areas subject to investigation. This summary drew on the aforementioned specific analyses of individual aspects and formed the basis

of the cost and impact analysis. In addition, the impact of the measures was discussed with regard to traffic rerouting and to changes in the flow of traffic, in journey times, in emissions (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>, noise), in road safety and in the concentration of NO<sub>2</sub>.

To evaluate the ETM measures for the purpose of the cost and impact analysis, two methods were applied which were examined with regard to their informative value. Using a benefit-cost analysis (BCA), an economic monetary assessment of the ETM systems and ETM measures was performed for the areas subject to investigation – Braunschweig, Erfurt, Potsdam and Wittenberg – by conducting comparative calculations for a base case and scenarios for a defined area of use. In addition, a qualitative cost-utility analysis (CUA) was carried out with regard to the inclusion of further indicators to help determine whether an ETM system should be introduced. In particular, this analysis makes it possible for the results to focus on the hot spots as well as for further indicators to be included in the assessment.

## Results

The following conclusions can be drawn from all of the analyses described that were performed during the research project:

1. ETM systems are technical systems that enable the dynamic implementation of air pollution control measures. They are suitable for activating temporary measures that are capable of reducing air pollution in hot spots without creating new problems (i.e. the exceedance of limit values in other areas).
2. With the support of systems that continuously monitor traffic, emissions and the concentration of pollutants across the road network, ETM systems also provide the technology needed to reduce the level of air pollution recorded across entire towns and cities.
3. ETM systems can temporarily and dynamically activate ETM measures. This is always advisable when the implementation of permanent, static measures is not expedient in view of other aspects.
4. ETM systems include an environment module that performs spatial and temporal analyses and

predicts the concentration of air pollutants on the basis of air measurements and the use of calculation models. Prediction models are needed to incorporate forecasts into the activation of ETM measures.

5. Complex ETM systems include a traffic module that performs spatial and temporal analyses and predicts traffic conditions on the basis of traffic detector data and, where appropriate, the use of floating car data and online traffic models. Appropriate traffic models are needed to monitor traffic across entire towns and cities.
6. Existing ETM systems operate reliably in practice, are accepted by public authorities, industry and private road users alike and help to reduce air pollution. In terms of the annual mean value of NO<sub>2</sub>, the actual reductions achieved in three of the areas subject to investigation – Braunschweig, Erfurt and Potsdam – are in the single-digit percentage range. In terms of the number of days on which PM10 limit values were exceeded, a reduction of a few days was recorded in Wittenberg. Higher rates of reduction can be achieved by increasing the threshold values and/or introducing “stricter” measures such as greater restrictions or selective driving bans.
7. ETM systems in the areas subject to investigation have a wide range of possible functional and technical configurations. The scope and complexity of the systems are largely determined by the specific requirements placed on the respective local solutions and the technical prerequisites.
8. In macroeconomic terms, ETM measures have a positive cost-benefit ratio when they improve the flow of traffic, meaning that, besides positive effects on health, positive results are also recorded for motor vehicle-related indicators. The beneficial effects which ETM systems are intended to achieve in the hot spot lead to a positive overall effect on human health, but not across all of the areas affected. The overall impact on the environment depends overwhelmingly on the mileage, taking into account any alternative routes and new problems caused by these.
9. When rerouting traffic, it is important to consider what alternative routes are available and to what extent they run through inhabited areas. A higher total mileage initially leads to a negative overall effect for the traffic-related indicators. At the same

time, the measure may have a negative impact on human health if the alternative routes are long and run through inhabited areas. Here, it is important to take into consideration the fact that traffic is also rerouted when local violations of PM10 or NO<sub>2</sub> limit values need to be avoided. It is then a case of reducing pollution locally while accepting that this may cause higher levels of pollution elsewhere – although further violations of limit values must be prevented. This approach may well lead to the benefit-cost ratio calculated during the BCA being negative across the board. It can, however, ensure that potential heavy fines for infringements of limit values are avoided. Such fines could considerably exceed the costs of an ETM system. Moreover, comparing a dynamic solution with a permanent solution in Wittenberg has shown that the temporary solution chosen is much more beneficial than a permanent one.

Taking into account all of the analyses performed during the research project and the aforementioned conclusions, the following recommendations can be made:

1. As part of the implementation of a dynamic environmentally sensitive traffic management system, a total of 11 ETM measures have been planned or put in place to date or are suitable in principle (see Appendix).
2. Suitable measures can be selected on the basis of the trigger criterion (NO<sub>2</sub>, PM10), the amount by which the limit value is exceeded at the hot spot (low, high) and whether any alternative routes are available (yes, no). A decision flowchart has been developed for this purpose (see Appendix).
3. The impact of an ETM measure essentially depends on the activation rate, which is determined by the threshold values established for the activation of the measure. These threshold values are calculated by weighing up the potential reduction in air pollutants, the level of interference in traffic and the acceptance of the activation frequency.
4. The threshold values at which measures should be activated are initially determined by means of preliminary investigations. They must be verified during test runs and are easy to adapt in practice in the event of different parameters.

5. The traffic modules require extensive input data in order to analyse and predict the current and future traffic conditions and perform impact assessments. The key parameters include traffic volume, fleet composition, speed of travel and traffic situation (HBEFA compliant). With regard to the temporal resolution of the input data, values of five minutes have proven to be suitable for a traffic module.
6. The environment modules require extensive input data in order to generate predictions and prognoses regarding current and future concentrations of air pollutants and to perform impact assessments. The key parameters include wind data, concentration of air pollutants (hot spot and background), ozone (background), global radiation and temperature. With regard to the temporal resolution, values of 30 or 60 minutes have proven to be suitable.
7. The latest version of the HBEFA must be used to calculate road traffic emissions. The fleet composition should take regional characteristics into account, e.g. the proportion of diesel vehicles in the fleet of passenger cars or the extent to which the fleet of public transport buses reduces the level of pollutants. Current methods for calculating PM10 emissions produced by resuspension and abrasion must also be taken into account. It is particularly important to determine the traffic conditions (traffic situation) in a way that is compliant with the HBEFA.
8. The calculations of pollutant concentrations, of emissions and of traffic conditions should be available a few minutes after the period of time being assessed. The complexity of this means that the dispersion models for the urban background (regional model) and the hot spot (detailed model) must be applied separately from one another and optimised for the respective spatial scale.
9. The use of analytical values is sufficient for the activation of measures for controlling the inflow of

Measures	
M1:	dynamically controlled driving ban for lorries
M2:	dynamic traffic diversions
M3:	dynamic traffic light control measures to improve the flow of traffic
M4*:	dynamic reduction of speed limits
M5:	dynamic control of the inflow of traffic
M6:	information, e.g. via information boards
M7:	dynamically controlled driving ban
M8:	dynamic driving bans for diesel vehicles
M9:	dynamic driving bans for vehicles without a Blue NO <sub>x</sub> Badge
M10:	dynamic closure of the environmental zone to general road traffic
M11:	dynamic congestion charge

\* Reductions caused by speed limits must be verified for the specific case.

Tab. A-1: Overview of measures

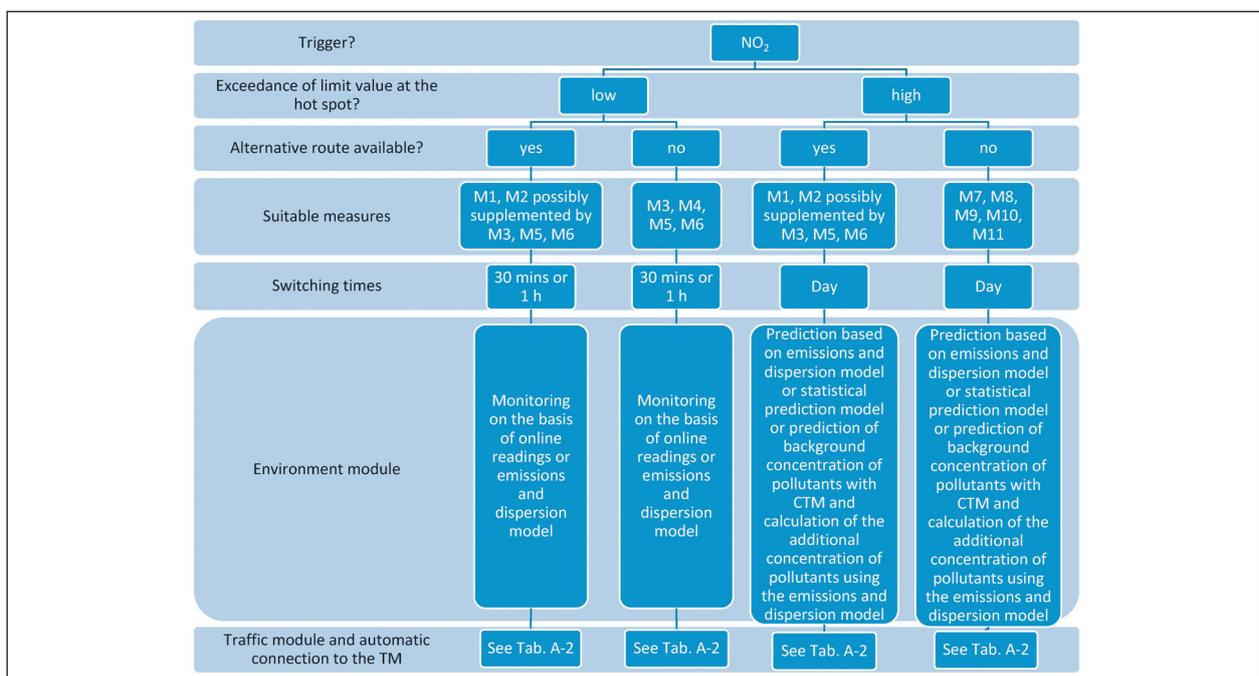


Fig. A-1: Decision flowchart on the choice of measure and the choice of environment module when NO<sub>2</sub> is the trigger

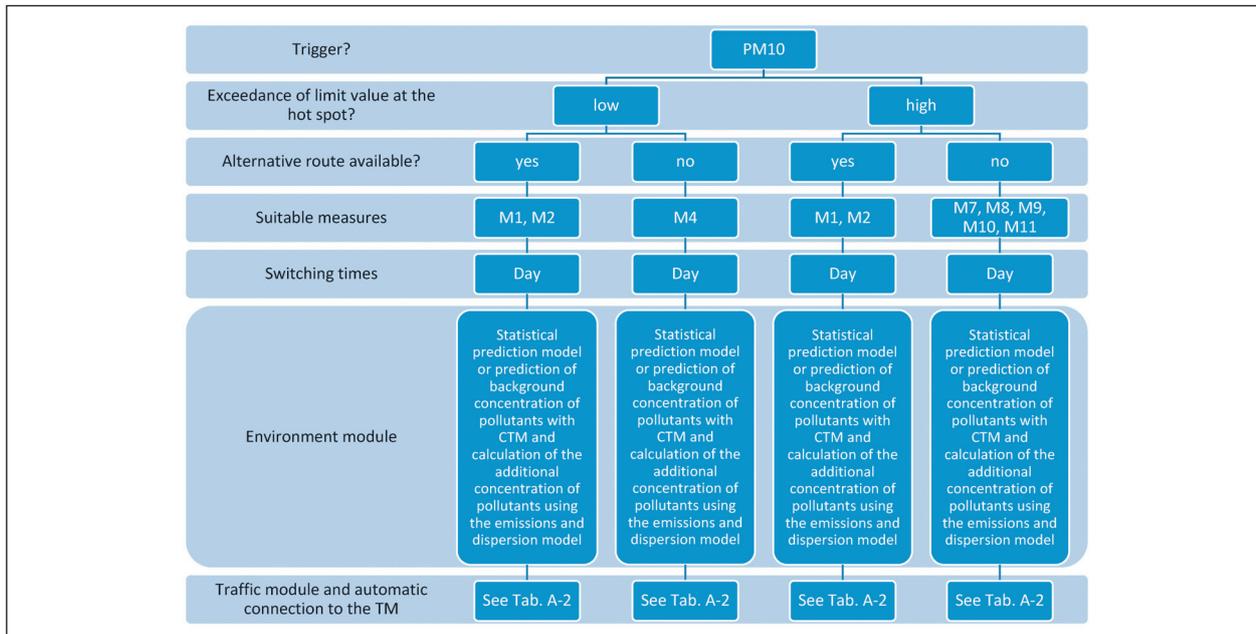


Fig. A-2: Decision flowchart on the choice of measure and the choice of environment module when PM10 is the trigger

Local situation	Trigger			
	NO <sub>2</sub>		PM10	
	Exceedance of limit value at the hot spot		Exceedance of limit value at the hot spot	
	low	high	low	high
	Traffic module		Traffic module	
Through road in a town, small city or district (1 road plus junction)	Detection at a few strategic points			
Medium-sized or large town or city (road network)	Comprehensive monitoring			
Motorway/Outside built-up areas	Detection at a few strategic points			
	Automatic connection to the TM		Automatic connection to the TM	
Through road in a town, small city or district (1 road plus junction)	yes	not compulsory	not compulsory	not compulsory
Medium-sized or large town or city (road network)	yes	yes	yes	yes
Motorway/Outside built-up areas	yes	yes	PM10 not relevant	

Tab. A-2: Decision table on the requirements for the traffic module and the connection between the environment module and traffic management system depending on the initial air quality at the hot spot, the local situation and the trigger criterion

traffic or limiting speed and providing up-to-date traffic information. Due to the need to provide traffic information in good time before activating driving bans and traffic diversion measures, a medium-range forecasting tool capable of predicting conditions at least one day in advance is required. Due to the daily limit value, this also generally applies when using PM10 as the trigger.

### Appendix

Figure A-1, Figure A-2 and Table A2 provide a decision flowchart for the selection of measures, requirements for the environment module and the connection to the traffic management system depending on the initial air quality at the hot spot, the trigger criterion and the availability of alternative routes.

This is based on the available or conceivable measures listed in Table A1.

# 1 Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung und Aufgabenstellung</b> .....	15	2.5.5	Ablauf der Aktivierung/Deaktivierung der Maßnahme .....	55
<b>2</b>	<b>Untersuchungsgebiete</b> .....	16	<b>3</b>	<b>Rechtsrahmen</b> .....	55
2.1	Braunschweig .....	17	3.1	Grundlagen .....	55
2.1.1	Gebietsbeschreibung .....	18	3.2	Beurteilung der Luftschadstoff- und Lärmbelastungen.....	56
2.1.2	Beschreibung der Hotspots.....	18	3.2.1	Historie.....	56
2.1.3	Beschreibung des UVM-Systems .....	21	3.2.2	Beurteilung der Luftqualität .....	57
2.1.4	Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium .....	26	3.2.3	Beurteilung der Lärmbelastung.....	57
2.1.5	Ablauf der Aktivierung/Deaktivierung der Maßnahme .....	28	3.2.4	Kommentar .....	58
2.2	Erfurt .....	28	3.3	Zur Konformität von Maßnahmen mit dem Gesetzesrahmen .....	59
2.2.1	Gebietsbeschreibung .....	30	3.3.1	Verhältnismäßigkeitsgrundsatz bei Maßnahmen des UVM .....	59
2.2.2	Beschreibung der Hotspots.....	31	3.3.2	Konkretisierung des gesetzlichen Rahmens .....	60
2.2.3	Beschreibung des UVM-Systems .....	33	3.3.3	Diskussion der in den UG realisierten Maßnahmen .....	61
2.2.4	Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium .....	38	3.3.4	Beispiele zukünftiger Maßnahmen zum Erreichen des NO <sub>2</sub> -Ziels .....	66
2.3	Potsdam.....	39	3.4	Vertragsverletzungsverfahren bei Nichteinhaltung der Grenzwerte.....	67
2.3.1	Gebietsbeschreibung .....	39	3.4.1	Außergerichtliches Vorverfahren.....	67
2.3.2	Beschreibung der Hotspots.....	40	3.4.2	Gerichtliches Verfahren .....	68
2.3.3	Beschreibung des UVM-Systems .....	41	3.4.3	Innerstaatliche Lastentragung.....	68
2.3.4	Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium .....	43	3.4.4	Höhe der Strafzahlungen .....	68
2.4	Lutherstadt Wittenberg .....	43	3.5	Klagen und Gerichtsurteile.....	69
2.4.1	Gebietsbeschreibung .....	43	<b>4</b>	<b>Marktanalyse</b> .....	71
2.4.2	Beschreibung des Hotspots .....	44	<b>5</b>	<b>Betriebserfahrungen</b> .....	72
2.4.3	Beschreibung des UVM-Systems .....	45	<b>6</b>	<b>Zusammenstellung der Maßnahmenwirkungen</b> .....	73
2.4.4	Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium .....	49	6.1	Braunschweig „Altewiekring“ .....	74
2.4.5	Ablauf der manuellen Aktivierung/ Deaktivierung der Maßnahme .....	49	6.1.1	Zusammenfassung der Wirkungen.....	75
2.5	Steiermark.....	50	6.1.2	Diskussion der Wirkungen.....	75
2.5.1	Gebietsbeschreibung .....	51	6.2	Braunschweig „Hildesheimer Straße“ .....	77
2.5.2	Beschreibung der Hotspots.....	51			
2.5.3	Beschreibung des UVM-Systems .....	53			
2.5.4	Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium .....	54			

6.2.1	Zusammenfassung der Wirkungen.....	77	8.2	Maßnahmen .....	101
6.2.2	Diskussion der Wirkungen.....	77	8.2.1	Übersicht von Maßnahmen für UVM-Systeme .....	101
6.3	Erfurt .....	78	8.2.2	Evaluierungen von Maßnahmen .....	101
6.3.1	Zusammenfassung der Wirkungen.....	78	8.2.3	Schwellenwertanalysen .....	104
6.3.2	Diskussion der Wirkungen.....	79	8.2.4	Sensitivitätsbetrachtungen .....	104
6.4	Potsdam.....	80	8.3	Mögliche Ausgestaltungen der Systeme...	104
6.4.1	Zusammenfassung der Wirkungen.....	81	8.4	Nutzen-Kosten-Verhältnis.....	105
6.4.2	Diskussion der Wirkungen.....	81	8.5	Übertragbarkeit der Ergebnisse .....	106
6.5	Lutherstadt Wittenberg .....	83	8.6	Möglichkeiten zur Erhöhung der Wirksamkeit .....	107
6.5.1	Zusammenfassung der Wirkungen.....	83	<b>9</b>	<b>Empfehlungen</b> .....	108
6.5.2	Diskussion der Wirkungen.....	84	9.1	System- und Maßnahmenwahl .....	108
6.6	Steiermark.....	85	9.2	Zeitliche Auflösung .....	109
6.6.1	Zusammenfassung der Wirkungen.....	85	9.3	Schwellenwerte .....	110
6.6.2	Diskussion der Wirkungen.....	85	9.4	Verkehrliche Eingangsdaten .....	111
<b>7</b>	<b>Kosten- und Wirkungsanalyse</b> .....	86	9.5	Umweltdaten.....	112
7.1	Methoden.....	86	9.6	Emissionsberechnung.....	112
7.1.1	Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) .....	87	9.7	Immissionsberechnung .....	113
7.1.2	Nutzwertanalyse (NWA) .....	89	9.8	Vorhersagen .....	113
7.2	Betrachtete Gebiete.....	90	<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	114
7.2.1	Braunschweig Altewiekring.....	90	<b>Literatur</b> .....	<b>116</b>	
7.2.2	Erfurt .....	91	<b>Anhang: Berechnungsansätze Nutzen-Kosten- Analyse (NKA)</b> .....	<b>119</b>	
7.2.3	Potsdam.....	91	1	Fahrzeiten .....	119
7.2.4	Lutherstadt Wittenberg .....	91	2	Betriebskosten .....	119
7.3	Ergebnisse der NKA.....	92	3	Unfallkosten .....	120
7.3.1	Generelle Ergebnisse .....	92	4	Lärmbelastung.....	120
7.3.2	NKA für Braunschweig .....	95	5	Schadstoffbelastung .....	120
7.3.3	NKA für Erfurt.....	95	6	Klimabelastung .....	120
7.3.4	NKA für Potsdam .....	96	7	Jahreskosten aus Investitionen.....	121
7.3.5	NKA für die Lutherstadt Wittenberg .....	96	8	Jahreskosten aus Betrieb.....	121
7.4	NWA, alle Untersuchungsgebiete .....	97	9	Nutzen-Kosten-Verhältnis.....	121
7.4.1	Bereich Verkehr .....	97	10	Berechnungsansätze Nutzwertanalyse (NWA) .....	121
7.4.2	Bereich Umwelt .....	97			
7.4.3	Bereich Rechtsrahmen .....	99			
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen</b> .....	99			
8.1	Definition und Aufbau von UVM-Systemen	99			

---

11	Räumliche Ausdehnung des Überschreitungsgebietes.....	21
12	Von Grenzwertüberschreitungen betroffene Personen.....	121
13	Differenz von Nullfall und Planfall im Bereich Verkehr.....	121
14	Differenz von Nullfall und Planfall im Bereich Umwelt.....	122
15	Indikatoren im Bereich Wirtschaftlichkeit.....	122
16	Indikatoren aus dem Rechtsrahmen.....	122
17	Standardisierung und Gewichtung.....	122
<b>Bilder .....</b>		<b>122</b>
<b>Tabellen.....</b>		<b>123</b>

Die Anlagen 1–3 zum Bericht sind im  
elektronischen BAST-Archiv ELBA unter:  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.



## 1 Einführung und Aufgabenstellung

Mobilität ist eine zentrale Voraussetzung für wirtschaftliches Wachstum, Beschäftigung und Teilnahme am gesellschaftlichen Leben. Hierfür sind leistungsfähige und optimal vernetzte Verkehrswege unabdingbar. Zunehmende Verkehrsleistungen sind aber auch mit steigenden Umweltbelastungen, wie z. B. der Belastung durch Lärm und Luftschadstoffe verbunden. Aus diesem Grund müssen zukunftsfähige Lösungen entwickelt werden, die unsere Mobilität langfristig sichern, wirtschaftlich tragfähig sind und gleichzeitig die Umwelt schonen.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt wurden Luftschadstoffe durch die Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa limitiert (EU, 2008) und durch die 39. Bundesimmissionschutzverordnung (39. BImSchV) in nationales Recht umgesetzt. Die Einhaltung dieser Grenzwerte ist eine staatliche Pflichtaufgabe, die von der EU bei Untätigkeit mit Strafzahlungen belegt werden kann.

Die aktuell relevanten Grenzwerte der 39. BImSchV sind in Tabelle 1-1 angegeben.

Um die verbindlichen Grenzwerte der Immissionsbelastung einzuhalten, wurden und werden kommunale und regionale Luftreinhaltepläne erstellt und Minderungsmaßnahmen festgelegt (Diegmann, 2013). Auf Grund des hohen Verursacheranteils haben Maßnahmen für den Kfz-Verkehr dabei eine besondere Bedeutung.

Zu unterscheiden sind beim Kfz-Verkehr statische und dynamische Maßnahmen. Als dynamische Maßnahme wird zur Senkung der Immissionsbelastungen an den Hotspots vermehrt auf das umweltsensitive Verkehrsmanagement (UVM)<sup>1</sup> gesetzt, um die Eingriffe in den Verkehrsablauf auf solche Situationen zu beschränken, die hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten der Luftqualität besonders effektiv sind (FGSV, 2014). Solche Eingriffe können sein:

- Verschiedene Arten von Fahrverboten, besonders für Lkw,
- Zuflussdosierung,

<sup>1</sup> Teilweise auch als „umweltorientiertes Verkehrsmanagement“ bezeichnet.

Stoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Geltungszeitpunkt
NO <sub>2</sub>	Stundenmittelwert	200 µg/m <sup>3</sup> maximal 18 Überschreitungen/Jahr	seit 2010
NO <sub>2</sub>	Jahresmittelwert	40 µg/m <sup>3</sup>	seit 2010
Partikel (PM10)	Tagesmittelwert	50 µg/m <sup>3</sup> maximal 35 Überschreitungen / Jahr	seit 2005
Partikel (PM10)	Jahresmittelwert	40 µg/m <sup>3</sup>	seit 2005
Partikel (PM2,5)	Jahresmittelwert	25 µg/m <sup>3</sup>	seit 2015

Tab. 1-1: Grenzwerte der 39. BImSchV

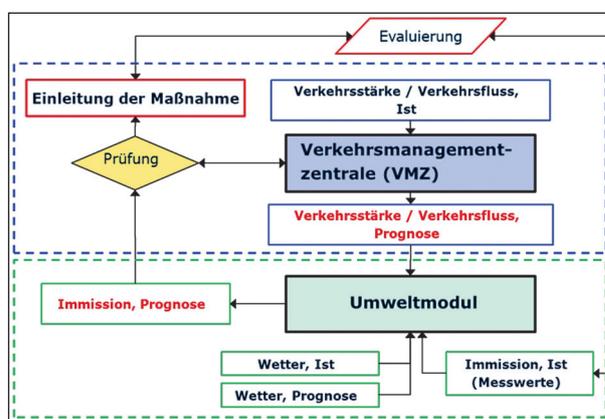


Bild 1-1: Funktionsschema eines Verkehrsmanagements

- Umlenkung von Verkehrsströmen durch Signalisierung mittels Lichtsignalanlagen oder mittels „Wechselverkehrszeichen“,
- Verstetigung des Verkehrsflusses in Hauptrichtung durch Veränderung der Grünzeiten bzw. des Grünbandes zu Lasten der Wartezeit / des Verkehrsflusses auf Querstraßen und ggf. in der Gegenrichtung, und
- Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit.

Für den Einsatz des UVM ist ein System erforderlich, das es erlaubt, die aktuelle und/oder zu erwartende Luftschadstoffbelastung zu bestimmen sowie die notwendigen Informationen für die Umsetzung von Steuerungsmaßnahmen bereitzustellen. Ein bereits vorhandenes dynamisches Verkehrsmanagement wird als UVM damit zu einem multikriteriellen Managementsystem erweitert (Bild 1-1).

Um dies zu realisieren, wird i. Allg. an die Verkehrssteuerung ein sog. Umweltmodul (Online-Prognosemodell) gekoppelt. Auch werden solche Prognosemodelle zur aktuellen Information der Öffentlichkeit

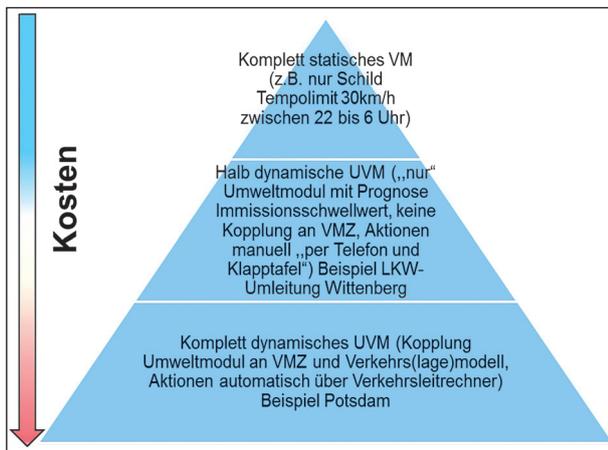


Bild 1-2: Klassifizierung der Detaillierungsgrade von UVM mit Beispielen

verwendet. Zwischen einem komplett statischen, vereinfachten System und einem vollständigen und weitgehend automatisierten UVM-System sind verschiedene Zwischenstufen denkbar und in der Praxis realisiert (Bild 1-2).

Ein dynamisches UVM ist wegen der notwendigen Investitionen und Betriebskosten in Abhängigkeit von der bereits vorhandenen Infrastruktur in der Regel aufwändiger als ein rein statisches System. Dafür bietet es geeignet konfiguriert die Chance, mit der minimal erforderlichen Eingriffstiefe in die verkehrlichen Abläufe ein Optimum an Umweltwirkungen zu erzielen. Dabei kommt den Schnittstellen zum Verkehrsmanagement (VM) und der Abstimmung von UVM- und VM-Strategien eine wichtige Rolle zu.

Entsprechende systematische Untersuchungen und Bewertungen liegen bisher nicht vor. Ebenso nicht zur Wahl und zum Einsatz der Umweltmodule und der Wechselwirkung zwischen lufthygienischen Aspekten, klimarelevanten Aspekten, Lärm und Verkehrlicher Leistungsfähigkeit.

Mit dem geplanten Forschungsansatz sollte deshalb dargestellt werden:

- Wie wirksam bisher realisierte UVM-Systeme sind;
- welche Komponenten in den eingesetzten Systemen zur räumlichen und zeitlichen Vorhersage von Luftschadstoffkonzentrationen verwendet werden, wie gut diese Vorhersagen sind und wie diese ggf. verbessert werden können;
- welche Abstimmungen und Anpassungsprozesse von Verkehrsmanagement und UVM notwendig sind, um ein effektives Zusammenwirken zu realisieren;

- welche Synergien aus einer Kopplung von VM mit UVM (Software, Hardware) resultieren können und inwieweit sich einfache Lösungen ohne wesentliche Einbußen an eine Anwendbarkeit und Wirksamkeit definieren lassen;
- in welcher Weise finanzieller Aufwand und Wirksamkeit eines UVM in Verbindung mit einem VM in Beziehung stehen, und ob es, abhängig von gegebenen Randbedingungen, ein Optimum der Auslegung eines UVM gibt;
- welchen Einfluss ein UVM auf die Stickstoffdioxid- und Feinstaubimmissionen haben kann;
- inwieweit Lärmimmissionen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. der Kraftstoffverbrauch sowie der Verkehrsablauf (z. B. Staubbildung, Verkehrsverlagerungen in andere Bereiche) und die Verkehrssicherheit von einem UVM betroffen sind,
- inwieweit sich ein UVM verkehrlich nicht nur hinsichtlich des regionalen, sondern auch des überregionalen Verkehrs (BAB und Bundesfernstraßen) auswirkt.

Der Schlussbericht fasst die Ergebnisse der Untersuchungen zusammen. Im Laufe der Bearbeitung des Projekts wurden sogenannte Meilensteinberichte erstellt, die einzelne Arbeitspakete detailliert beschreiben. Diese detaillierten Ausführungen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit und besseren Lesbarkeit und einer untergeordneten Bedeutung nicht im Schlussbericht vollständig aufgenommen worden. Um die Ergebnisse bei entsprechendem Bedarf aber trotzdem zugänglich zu machen, stehen die Meilensteinberichte in leicht überarbeiteter Form als Anlagen 1 bis 3 ergänzend zum Schlussbericht zur Verfügung.

## 2 Untersuchungsgebiete

Anhand der Kenntnisse der Projektpartner sowie einer Marktanalyse wurden in Deutschland laufende bzw. in Umsetzung befindliche UVM-Systeme sowie deren entsprechende Untersuchungsgebiete (UG) systematisiert, die für eine Bearbeitung im Rahmen des vorliegenden Projektes prinzipiell in Frage gekommen sind (siehe Anlage 1). Dies betraf Systeme in den Städten:

- Berlin,
- Braunschweig,
- Erfurt,

- Potsdam,
- Rostock,
- Weimar,
- Wittenberg,
- Hagen,
- Köln und
- Autobahn A12 in Österreich.

Durchgeführte Indikatorenanalysen (siehe Anlage 1) zeigten auf, dass die verfügbaren Untersuchungsgebiete sowie die dort installierten UVM-Systeme z. T. Ähnlichkeiten, aber auch signifikante Unterschiede aufweisen.

Bei den Zielfeldern der Indikatorenanalysen zur Ausgangssituation oder Struktur treten die größten Distanzen zwischen den UG Potsdam und Rostock auf. Diese beiden UG unterscheiden sich hinsichtlich der Ausgangssituation am weitest gehenden von allen anderen möglichen Kombinationen.

Bzgl. der gewählten UVM-Lösungen treten die größten Distanzen zwischen den UG Braunschweig Hildesheimer Straße und Wittenberg auf. Große Distanzen wurden auch für das UG-Paar Braunschweig Altewiekring und Wittenberg ermittelt. Weiterhin wurde bei der Auswahl bzw. der Priorisierung beachtet, dass das UVM Rostock sich (Stand September 2016) erst in der Erprobung befand sowie dass die Indikatoren für Rostock und Erfurt ähnlich sind. Außerdem ist das UVM an der A12 in Österreich das einzige System, welches auf einer Autobahn installiert ist.

Wittenberg ist das einzige System mit einer technisch einfachen Lösung (nicht automatisierte Kopplung an ein Verkehrsmanagementsystem).

Zur weiteren Bearbeitung innerhalb des Projektes wurden deshalb folgende Untersuchungsgebiete (UVM) empfohlen und durch den Auftraggeber sowie dessen fachlichen Betreuerkreis akzeptiert:

1. UVM Potsdam
2. UVM Wittenberg
3. UVM Erfurt
4. UVM Braunschweig
5. UVM A12 Österreich (Steiermark)

Für alle diese Untersuchungsgebiete lagen umfangreiche langjährige Umwelt- und Verkehrsdaten sowie die entsprechenden Schaltzustände des VM

vor, die die im Projekt geforderten Analysen, Berechnungen und Bewertungen ermöglichten. Zudem lagen dort auch bereits langjährige Betriebserfahrungen bei den Betreibern vor.

Die in den Untersuchungsgebieten eingesetzten UVM beinhalten auch die komplette Palette der innerhalb von Umweltmodulen für Analysen und Vorhersagen einsetzbaren Modellkomponenten (ProFet - statistisches Vorhersagemodell; PROKAS<sup>online</sup> - Emissions- und Ausbreitungsmodell; IMMIS<sup>mt</sup> - Emissions- und Ausbreitungsmodell, statistisches Vorhersagemodell).

Die Projektpartner sind, mit Ausnahme beim UVM in der Steiermark, an allen diesen UVM beteiligt und waren damit in der Lage auch die entsprechenden Auswertungen durchzuführen und die Betriebserfahrungen zu bewerten. Im UVM Steiermark wurden die Datenanalysen, Erfahrungen und Betriebserfahrungen der der österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) und der veröffentlichten Evaluierungen übernommen. Für die Datennutzungen lagen die nötigen Nutzungsvereinbarungen vor.

Die Untersuchungsgebiete und Systeme werden im Folgenden vorgestellt.

## 2.1 Braunschweig

Im Forschungsvorhaben „Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Braunschweig“ (UVM-BS, 2010 und UVM-BS, 2012) wurde am Beispiel der Stadt Braunschweig untersucht, wie verkehrsinduzierte Luftschadstoffbelastungen und Grenzwertüberschreitungen durch situativ angepasstes, präventives Gegensteuern mit flächenbezogenen Verkehrsmanagementmaßnahmen reduziert werden können. Parallel dazu hat auch die Stadt Braunschweig die Einführung eines UVM als eine wesentliche Maßnahme zur Reduktion der Luftschadstoffbelastungen an kritischen Streckenabschnitten in Ihren Luftreinhalte- und Aktionsplan (Braunschweig, 2007) aufgenommen.

Seit 2009 läuft in Braunschweig ein UVM, welches in mehreren Bearbeitungsstufen geschaffen und weiterentwickelt wurde. In Stufe 1 wurden erste technische Voraussetzungen geschaffen und u. a. in einem Feldversuch die Wirksamkeit von UVM-Maßnahmen modelltechnisch belegt. In der Stufe 2 wurden darauf aufbauend mögliche Maß-

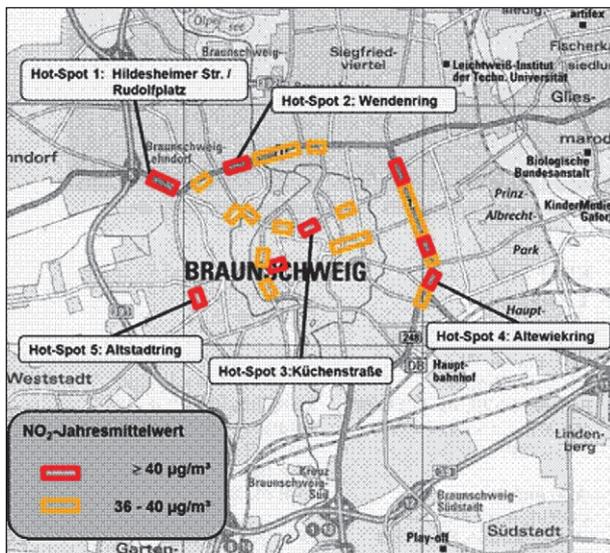


Bild 2-1: Im Rahmen der UVM-Projekte betrachtete Hotspots in Braunschweig (UVM-BS, 2012)

nahmen und Strategien weiterentwickelt und mittels Modellrechnungen und Simulationsstudien auf weitere Hotspots des Stadtgebietes angewendet. Dabei wurden insbesondere auch die auftretenden Wechselwirkungen untersucht. Bild 2-1 zeigt die betrachteten Hotspots in Braunschweig.

Mit der dritten Stufe des Projekts wurde 2015 die Entwicklung des UVM-Softwaresystems für den operativen Einsatz abgeschlossen und ein Vorhersagemodul für den Kfz-Verkehr und die Luftschadstoffbelastung integriert.

Das UVM-BS wird seit Mitte 2014 im Auftrag der Stadt Braunschweig flächendeckend als Verkehrs- und Umweltmonitoringsystem betrieben. 2015 wurden für den – aus Sicht der Stadt Braunschweig kritischsten – Hotspot Altewiekring (Hotspot 4) im Rahmen einer zweimonatigen Testphase zeitgesteuerte LSA-Maßnahmen zur Verstärkung des Verkehrsablaufs erfolgreich getestet.

Im Rahmen des Forschungsprojektes UVM-2 (UVM-BS, 2012) wurde u. a. auch der Bereich Hildesheimer Straße (Hotspot 1) mit den möglichen Ausweichrouten BAB 391 und BAB 392 intensiv in Makro- und Mikrosimulationsstudien untersucht.

### 2.1.1 Gebietsbeschreibung

Gemäß Luftreinhalte- und Aktionsplan von 2007 (Braunschweig, 2007) ist Braunschweig „mit ca. 240.000 Einwohnern<sup>2</sup> die zweitgrößte Stadt Niedersachsens. Die Stadt liegt an zwei Hauptverkehrsstrecken, der Autobahn A2 mit Anbindung über die

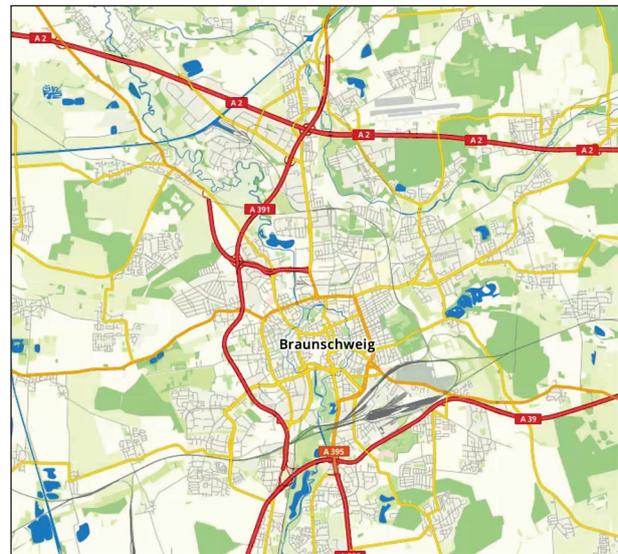


Bild 2-2: Übersichtskarte Braunschweig (Kartendaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

A39 an die A7 in Richtung Süden und die Eisenbahnstrecke Ruhrgebiet-Berlin. Ein Regionalflughafen liegt im Norden der Stadt. Der Straßenverkehr läuft sternförmig aus allen Richtungen auf eine innerstädtische Ringstraße der Stadt zu (Bild 2-2). Von Norden/Süden kommender Durchgangsverkehr wird über eine Schnellstraße<sup>3</sup> westlich an der Stadt vorbei geleitet. Der ÖPNV wird über acht Straßenbahnlinien<sup>4</sup> abgewickelt. Ergänzt werden die Stadtbahnlinien durch ein Linienbusnetz.“

Im Stadtgebiet Braunschweig werden zwei kontinuierlich messende Messstationen des Niedersächsischen Luftmessnetzes betrieben. Im Südwesten der Stadt liegt die Station Braunschweig/Broitzem, die zur Ermittlung der städtischen Hintergrundbelastung dient. Die Verkehrsmessstation befindet sich auf dem östlichen Innenstadtring, direkt im Bereich des Hotspots Altewiekring (vgl. Bild 2-3).

### 2.1.2 Beschreibung der Hotspots

#### Hotspot Altewiekring

##### • Räumliche Lage

Der Hotspot Altewiekring liegt auf dem östlichen Teil des Braunschweiger Innenstadtrings. Gemäß Luftreinhalte- und Aktionsplan (Braunschweig, 2007) erstreckt sich der kritische Abschnitt von der Fasanenstraße bis zur Kastanienallee. Die Abschnitte nördlich und südlich dieses Hotspots weisen nach

<sup>2</sup> Zwischenzeitlich ist die Einwohnerzahl auf ca. 250.000 Einwohner gewachsen.

<sup>3</sup> A391

<sup>4</sup> Aktuell sind es noch 5 Stadtbahnlinien, die allerdings dasselbe Liniennetz abdecken wie 2007.

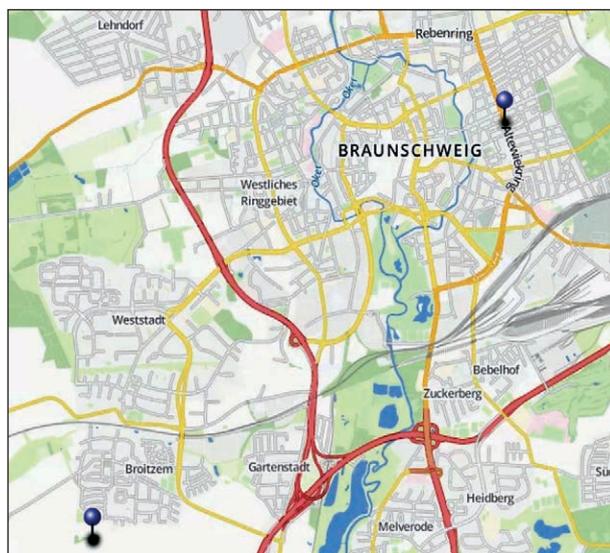


Bild 2-3: Lage der Luftmessstationen in Braunschweig (Kartendaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

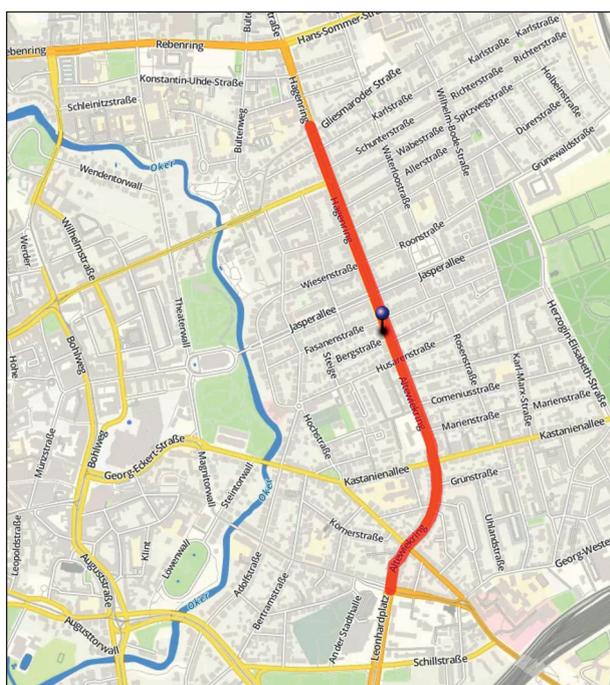


Bild 2-4: Hotspotbereich Altewiekring (<http://umap.openstreetmap.fr/de/>, Kartendaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Modellberechnungen jedoch ebenfalls eine hohe Immissionsbelastung auf, so dass im UVM Braunschweig der gesamte Ringabschnitt von der Gliersmaroder Straße bis zum Leonhardplatz als kritischer Bereich betrachtet wird (vgl. Bild 2-4). Dieser weist eine Gesamtlänge von ca. 1,7 km auf, während der im Luftreinhalte- und Aktionsplan benannte Abschnitt lediglich knapp 500 m lang ist. Die Luftmessstation befindet sich im Kern des kritischen Abschnitts zwischen Fasanenstraße und Bergstraße.

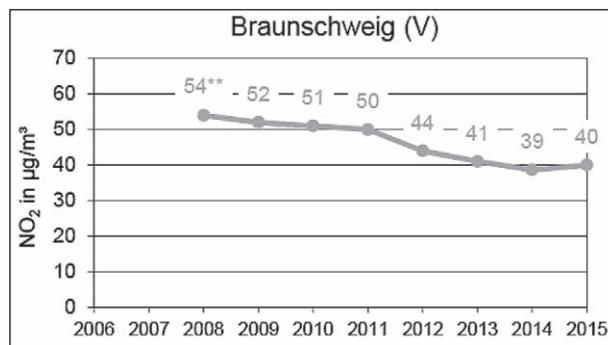


Bild 25: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an der Messstation Braunschweig-Altewiekring (GAA Hildesheim, 2016)

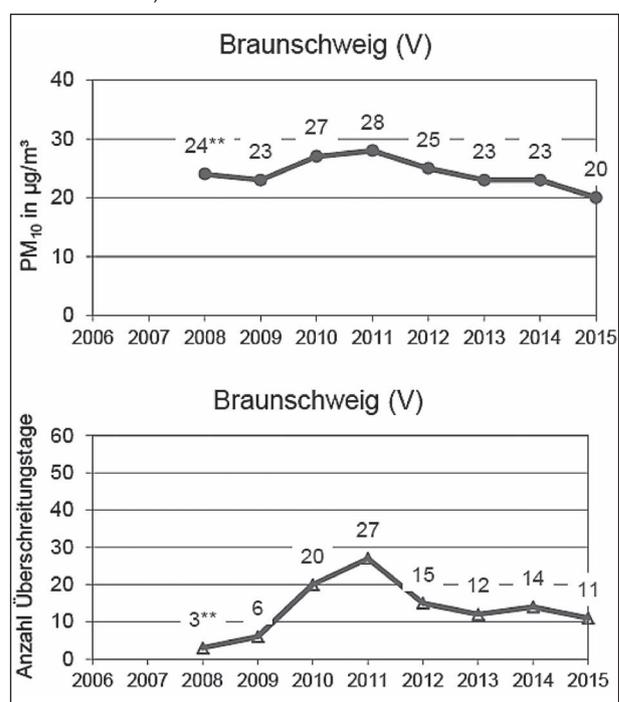


Bild 2-6: Entwicklung der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwerts an der Messstation Braunschweig-Altewiekring (GAA Hildesheim, 2016)

### • Luftschadstoffsituation

Zur Beurteilung der Luftschadstoffsituation betreibt das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (GAA Hildesheim) das Lufthygienische Überwachungssystem (LÜN). Die Lage der LÜN-Messstation im Altewiekring ist in Bild 2-3 und Bild 2-4 eingezeichnet.

Die zeitliche Entwicklung der gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte ist in Bild 2-5 und der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte bzw. die Anzahl der PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage in Bild 2-6 dargestellt. Aus diesen Messungen wird ersichtlich, dass am Altewiekring seit Beginn der Messungen 2008 keine Grenzwertverletzungen bei PM<sub>10</sub> festgestellt werden konnte. Bei NO<sub>2</sub> wurden bis 2011 mit Werten um 50 µg/m<sup>3</sup> deut-

Quellgruppen	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>x</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM10 (%)	NO <sub>x</sub> (%)
Regionaler Hintergrund	20,0	14,0	74,3	20,0
Urbaner Hintergrund Industrie	0,0	0,4	0,1	0,6
Urbaner Hintergrund Hausbrand	0,2	2,8	0,9	4,0
Urbaner Hintergrund Nebenstraßennetz	0,1	1,4	0,5	2,0
Urbaner Hintergrund Hauptstraßennetz	1,3	10,9	4,9	15,5
Zusatzbelastung im Hotspot	5,2	40,5	19,2	57,8
alle Quellgruppen	26,9	69,9	100,0	100,0

Tab. 2-1: Quellgruppenanteile an den Immissionen im Altewiekring im Bezugsjahr 2010 (geändert nach GAA Hildesheim, 2016)

liche Überschreitungen des NO<sub>2</sub>-Jahresgrenzwerts in Höhe von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. In 2014 und 2015 liegen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte knapp im erlaubten Bereich.

In GAA Hildesheim (2011) wird für die Immissionsbelastung im Altewiekring eine Verursacheralyse angestellt, die in Tabelle 2-1 wiedergegeben ist.

#### • Lärmsituation

Aus der Lärmkartierung der Stadt Braunschweig (2012) wurden für die Belastungssituation „Lärm nachts“ im Altewiekring Werte im Intervall 65 – 70 dB(A) ermittelt.

#### • Verkehrliche Situation

Als östliche Achse des Innenstadtrings weist der Altewiekring über den gesamten Tagesverlauf hinweg in beiden Fahrtrichtungen eine hohe Verkehrsbelastung auf, die bedingt durch die zahlreichen LSA auf dem Streckenzug in den Spitzenstunden regelmäßig zu einem sehr schlechten Verkehrsfluss führt.

Der Straßenzug ist über den gesamten Streckenverlauf mit zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung und begleitenden Fuß- und Radwegen auf beiden Seiten ausgestattet. Die Fahrtrichtungen sind durch eine Mittelinsel getrennt. An beiden Enden des Hotspotbereichs kreuzt jeweils eine mit Vorrangschaltung ausgestattete Stadtbahnlinie den Streckenabschnitt.

In den vergangenen Jahren fanden auf dem östlichen Ring sowie in dessen Umfeld zahlreiche größere Baumaßnahmen statt, die sowohl die Verkehrsmengen als auch die Qualität des Verkehrsablaufs beeinflussten. Die gemessenen DTV-Wer-

te<sup>5</sup> variieren von 27.800 Kfz in 2010 bis zu 24.400 Kfz in 2015.

In den ersten 9 Monaten des Jahres 2016 lag der DTV-Wert bei 24.900 Kfz. An Werktagen werden in den Spitzenstunden in Richtung Süden ca. 1.000 Kfz/h (Morgenspitze) bzw. ca. 1.100 Kfz/h (Nachmittagsspitze) gemessen. In Richtung Norden sind es in beiden Zeitbereichen etwa 1.000 Kfz/h.

Der Verkehr setzt sich aus einem großen Anteil Quell- / Zielverkehr und lediglich einem kleineren Anteil Durchgangsverkehr zusammen. Der umgebende Bereich ist ein Wohn- und Arbeitsgebiet mit hoher Bevölkerungsdichte. Der Anteil des Durchgangsverkehrs (bezogen auf den kompletten, 1.700 m langen Hotspotbereich) beträgt 23 %. Der Schwerverkehrsanteil ist mit 1,7 % recht niedrig.

#### Hotspot Hildesheimer Straße

##### • Räumliche Lage

Die Hildesheimer Straße ist eine hoch belastete Einfallstraße<sup>6</sup>, die aus Richtung Westen am Rudolfplatz auf den Innenstadtring trifft. Neben den von der B1 (Hannoversche Straße) aus Richtung Westen in Richtung Innenstadt führenden Verkehrslinien nimmt sie auch die Verkehre aus den Stadtteilen Lehdorf und Kanzlerfeld (Saarstraße) auf. Zudem ist sie über die Abfahrt Lehdorf mit der Stadtautobahn A391 verknüpft. Der Hotspotbereich befindet sich am östlichen Ende der Hildesheimer Straße vor dem Rudolfplatz. Der kritische Abschnitt erstreckt sich über eine Länge von knapp 100 m (vgl. Bild 2-7).

##### • Luftschadstoffsituation

Zur Beurteilung der Luftschadstoffsituation betreibt das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim das Lufthygienische Überwachungssystem (LÜN). In der Hildesheimer Straße wird die NO<sub>2</sub>-Belastung mit einem Passivsammler ermittelt<sup>7</sup>.

Die Lage der LÜN-Messstation in der Hildesheimer Straße ist in Bild 2-7 eingezeichnet.

Die zeitliche Entwicklung der gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte ist in Bild 2-8 dargestellt. Aus diesen Messungen wird ersichtlich, dass in der Hildesheimer Straße am Ort der Messungen keine Grenz-

<sup>5</sup> bezogen auf den Querschnitt auf Höhe des Messcontainers

<sup>6</sup> Ehemals B1, heute herab gestuft zur Kreisstraße, da die B1 über die A391 und A39 um Braunschweig herum geführt wird.

<sup>7</sup> Zwischenzeitlich wurde der Passivsammler an der Hildesheimer Straße wieder abgebaut, da dort über mehrere Jahre in Folge keine Grenzwertüberschreitungen gemessen wurden.

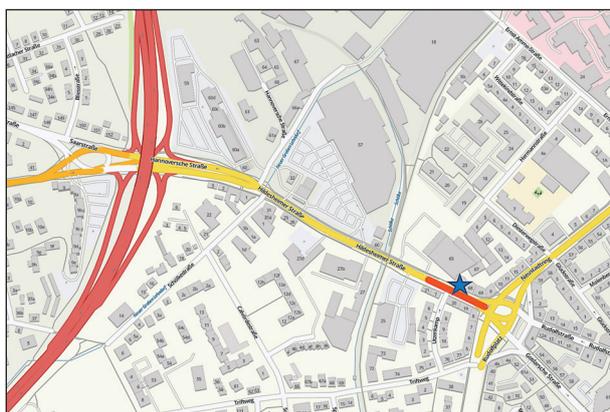


Bild 2-7: Hotspotbereich Hildesheimer Straße mit Standort Passivsammler (Kartendaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, BY-CC-SA)

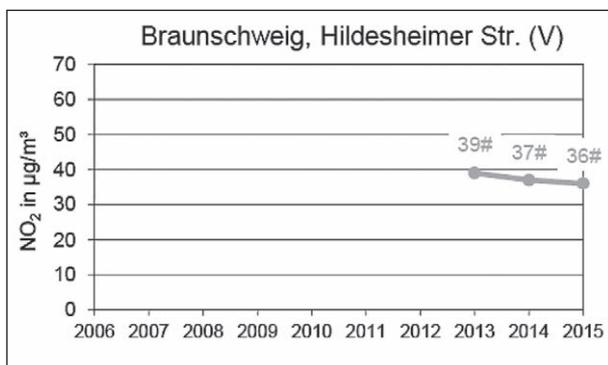


Bild 2-8: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an der Messstation Braunschweig-Hildesheimer Straße (GAA Hildesheim, 2016)

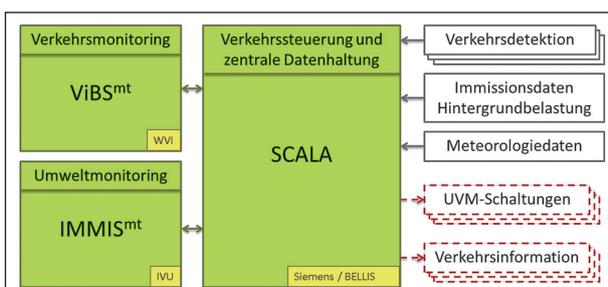


Bild 2-9: Überblick Gesamtsystem im UVM Braunschweig (eigene Darstellung WVI)

wertverletzungen bei NO<sub>2</sub> festgestellt werden. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass aus meteorologischen Gründen auf der der Messstation gegenüberliegende Straßenseite mit höheren Belastungen zu rechnen ist, weshalb nach den Modellrechnungen des GAA von Grenzwertverletzungen des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts auszugehen ist (GAA Hildesheim, 2011).

Aus diesen Modellrechnungen ergibt sich ein Verursacheranteil des lokalen Verkehrs in Höhe von 65 % bei NO<sub>x</sub> und 30 % bei PM<sub>10</sub> bezogen auf den Jahresmittelwert in 2010.

## • Lärmsituation

Aus der Lärmkartierung der Stadt Braunschweig (2012) wurden für die Belastungssituation „Lärm nachts“ in der Hildesheimer Straße Werte im Intervall 65 – 70 dB(A) ermittelt.

## • Verkehrliche Situation

Als Einfallstraße Richtung Innenstadt weist die Hildesheimer Straße über den gesamten Tagesverlauf hinweg in beiden Fahrrichtungen eine hohe Verkehrsbelastung auf. Die Qualität des Verkehrsablaufs wird maßgeblich durch die Verkehrssituation am Rudolfplatz bestimmt, wobei insbesondere die stadteinwärts fahrenden Verkehre sich häufiger vom Rudolfplatz zurück in den Hotspotbereich stauen.

Der Straßenzug ist im Hotspotbereich stadteinwärts mit drei und stadtauswärts mit zwei Fahrstreifen sowie begleitenden Fuß- und Radwegen auf beiden Seiten ausgestattet.

In den vergangenen Jahren fanden im Umfeld der Hildesheimer Straße zahlreiche größere Baumaßnahmen statt, die Auswirkungen auf die dort gemessenen Verkehrsmengen hatten. Die gemessenen DTV-Werte<sup>8</sup> variieren von 28.000 Kfz in 2010 bis zu 23.100 Kfz in 2012.

In den ersten 9 Monaten des Jahres 2016 lag der mittlere DTV bei 24.500 Kfz. An Werktagen werden in den Spitzenstunden stadteinwärts ca. 950 Kfz/h (Morgenspitze) bzw. ca. 900 Kfz/h (Nachmittagspitze) gemessen. Stadtauswärts sind es in der Morgenspitze knapp 900 Kfz und in der Nachmittagspitze ca. 1.100 Kfz/h. Der Schwerverkehranteil beträgt 3,5%.

### 2.1.3 Beschreibung des UVM-Systems

Das UVM-Braunschweig wird gemeinsam von den Partnern Bellis GmbH, IVU Umwelt GmbH und WVI GmbH im Auftrag der Stadt Braunschweig betrieben. Es handelt sich um ein verteiltes System, dessen Komponenten jeweils bei den dafür verantwortlichen Partnern betrieben werden. Bild 2-9 stellt das Gesamtsystem in der Übersicht dar.

Im Verkehrsmonitoring VIBS<sup>mt</sup> wird mit einem komplexen Verkehrsmodell unter Nutzung empirischer Detektionsdaten flächendeckend die Verkehrslage im Betrachtungsraum abgebildet. Das Umweltmonitoring IMMIS<sup>mt</sup> berechnet darauf aufbauend flächendeckende Immissionsbelastungen, z. B. für

<sup>8</sup> bezogen auf den Querschnitt auf Höhe des Passivsammlers

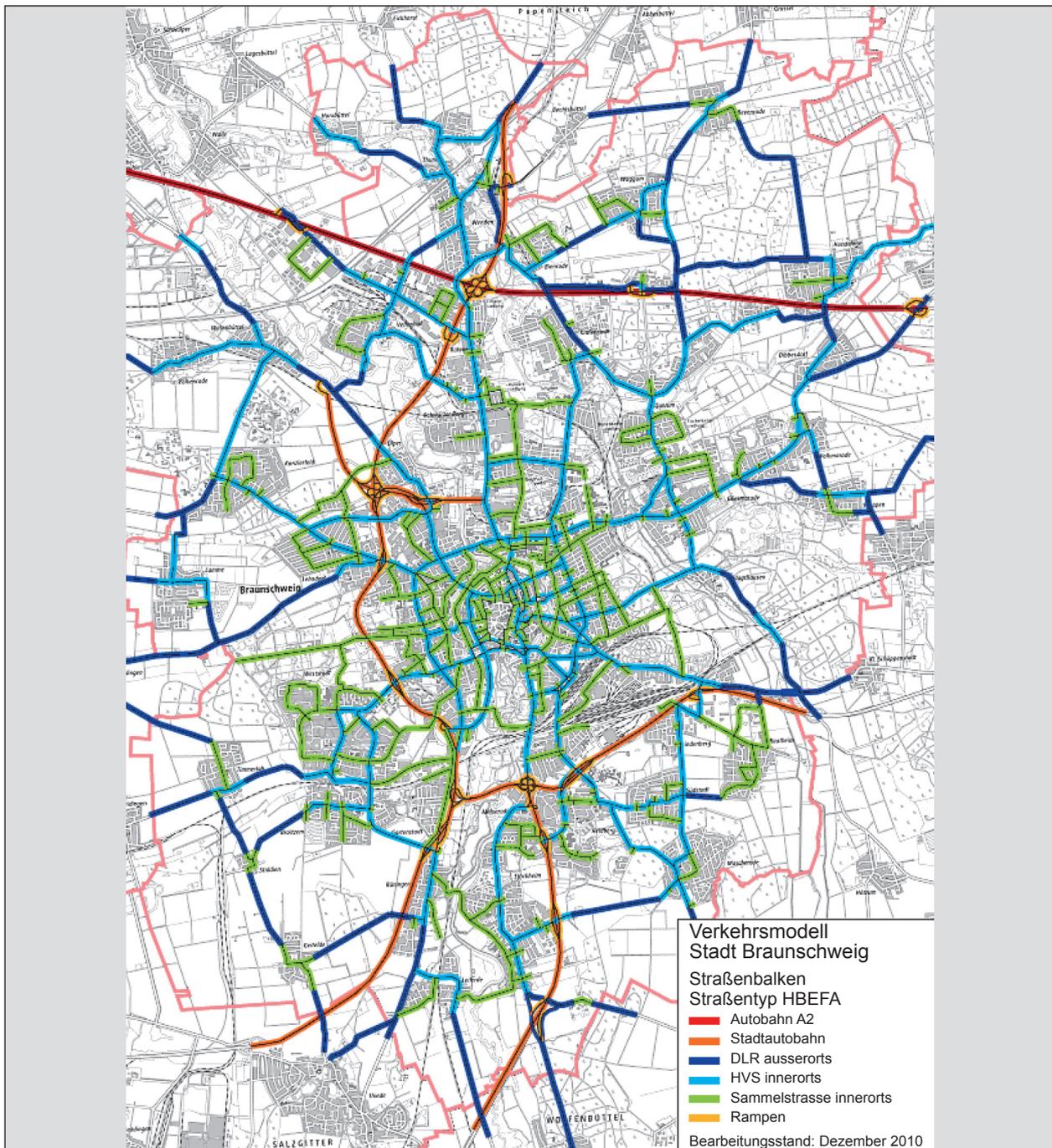


Bild 2-10: Betrachtungsraum Verkehrsmonitoring im UVM Braunschweig (WVI, 2012)

PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub>. Im Verkehrsmanagementsystem (SCALA) sind geeignete Strategien und Maßnahmen hinterlegt, die zur Vermeidung hoher Umweltbelastungen nur dann geschaltet werden, wenn es tatsächlich nötig ist. Eine präventive Steuerung durch die Vorhersage von Verkehrs- und Umweltbelastung komplettiert das Verfahren, deren Betrieb ist aktuell jedoch durch die Stadt Braunschweig noch nicht beauftragt.

### Verkehrsmodul

Das von der WVI GmbH entwickelte und betriebene Verkehrsmonitoring-System ViBS<sup>mt</sup> berechnet stündlich in Echtzeit die aktuelle Verkehrssituation im gesamten Hauptstraßennetz der Stadt Braunschweig. Das zugehörige Netzmodell wird bei der WVI GmbH gepflegt. Wöchentlich wird die Netzsituation insbesondere bzgl. größerer Baumaßnahmen geprüft und erforderlichenfalls angepasst, so dass im Monitoring immer mit einem aktuellen, den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechenden Netz

gerechnet wird. Der im Netzmodell abgebildete Betrachtungsraum ist in Bild 2-10 dargestellt.

Kern des Verkehrsmonitorings ist ein Rechenmodell auf Basis von PTV VISUM, welches stündlich aus den aktuellen Eingangsdaten sowie dem passenden Netzmodell eine stundenbasierte Umlegungsrechnung durchführt. Im Ergebnis stehen stundenfeine und nach Fahrzeugarten differenzierte Verkehrsbelastungen für alle Strecken zur Verfügung.

Als Eingangsdaten fließen nach Jahreszeit, Tagesart, Tagesstunden und Fahrzeugarten differenzierte Quelle-Ziel-Matrizen sowie aktuelle Detektionsdaten aus dem Verkehrsmanagementsystem der Stadt Braunschweig ein. Die Matrizen dienen als Startlösung und werden mittels des VSTROM-Fuzzy Moduls in VISUM auf die tatsächliche Situation in der betrachteten Stunde angepasst.

Hierzu werden die Detektionsdaten als Kalibrierungsgröße verwendet. Diese werden dazu vorher im Verkehrsmonitoring geeignet aufbereitet und auf Plausibilität geprüft. Unplausible Messwerte werden automatisiert für die jeweilige Stunde von den Berechnungen ausgeschlossen. Aktuell fließen im Normalfall Daten aus ca. 85 richtungsbezogenen Messstellen in das Verkehrsmonitoring ein. Mit Ausnahme der Messstelle MS005 (Bohlweg, Induktionsschleife) handelt es sich ausschließlich um Messstellen, die mit TEUs<sup>9</sup> ausgestattet sind.

In einem zweiten Schritt wird mittels eines von der WVI GmbH entwickelten LOS-Modells der für die Emissionsberechnungen nach HBEFA<sup>10</sup> erforderliche Level of Service (LOS) je Strecke bestimmt. Grundlage der LOS-Bestimmung ist die Auslastung eines Streckenabschnitts in Bezug auf seine Kapazität. Über geeignete, im Netzmodell hinterlegte Faktoren wird berücksichtigt, dass die Kapazität eines Streckenabschnitts im städtischen Netz zu großen Teilen von dem darauffolgenden Knotenpunkt bestimmt wird. Zudem werden über geeignete Faktoren auch die Wirkungen von Verkehrsmanagementmaßnahmen (beispielsweise verbesserte Koordinierungen oder Zuflussdosierungen) im Verkehrsmonitoring abgebildet. Über die Schnittstelle zum Verkehrsmanagementsystem wird dazu vorab ermittelt, ob

<sup>9</sup> Traffic Eye Universal: Infrarot-Überkopf-Detektor-System der Firma Siemens

<sup>10</sup> Die Definition des LOS im HBEFA unterscheidet sich deutlich von der im Verkehrswesen üblichen Einteilung etwa gemäß HBS. Die im Verkehrsmonitoring ermittelte LOS-Verteilung ist dabei als Eingangsgröße für Rechenverfahren nach HBEFA auf die dortige Definition angepasst.

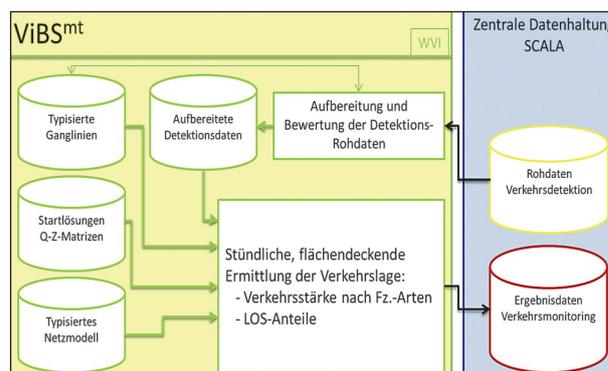


Bild 2-11: Systemübersicht Verkehrsmonitoring im UVM Braunschweig (eigene Darstellung WVI)

bzw. welche Verkehrsmanagementmaßnahmen im aktuellen Betrachtungszeitraum geschaltet sind.

Das Verkehrsnetz in ViBS<sup>mt</sup> ist umfangreicher und feiner differenziert als das im Umweltmonitoring und Verkehrsmanagement betrachtete Streckennetz. In einem letzten Schritt werden daher die im Verkehrsmonitoring ermittelten Ergebnisse je Streckenabschnitt gewichtet auf die 2.122 Streckenabschnitte des im Verkehrsmanagementsystem SCALA hinterlegten Verkehrsnetzes aggregiert. Anschließend werden die Daten über die OCIP2-Schnittstelle an den SCALA gesendet, von dem aus sie dann auch für das Umweltmonitoring zur Verfügung stehen.

Bild 2-11 zeigt den Aufbau des Verkehrsmonitoringsystems in der Übersicht. Detaillierte Beschreibungen und weitere Erläuterungen finden sich in den Schlussberichten zum Forschungsprojekt UVM-2 (UVM-BS, 2012) und (WVI, 2012).

### Umweltmodul

Zur Berechnung der aktuellen Luftschadstoffbelastung wird das System IMMIS<sup>mt</sup> (Diegmann & Gäßler, 2009) eingesetzt. Bild 2-12 zeigt die wesentlichen Datengrundlagen der Berechnung, die Modelle und insbesondere den Einsatz von IMMIS<sup>mt</sup> zur Überwachung der Luftschadstoffkonzentration in Hotspots.

### Übersicht

IMMIS<sup>mt</sup> ist ein Monitoring-System zur Überwachung und Vorhersage der stadtweiten Luftschadstoff- und Lärmbelastung in Echtzeit. Auf der Basis von aktuellen Verkehrsdaten, Schadstoffmesswerten und Wetterdaten berechnet IMMIS<sup>mt</sup> Kfz-Emissionen, Hintergrundkonzentrationen und die Immissionen sowie die Lärmbelastung im Straßenraum z. B. in stündlicher Auflösung. Dafür sind mehrere innerhalb der Luftreinhalteplanung validierte Computermodelle optimal aufeinander abgestimmt und integriert (Bild 2-13).

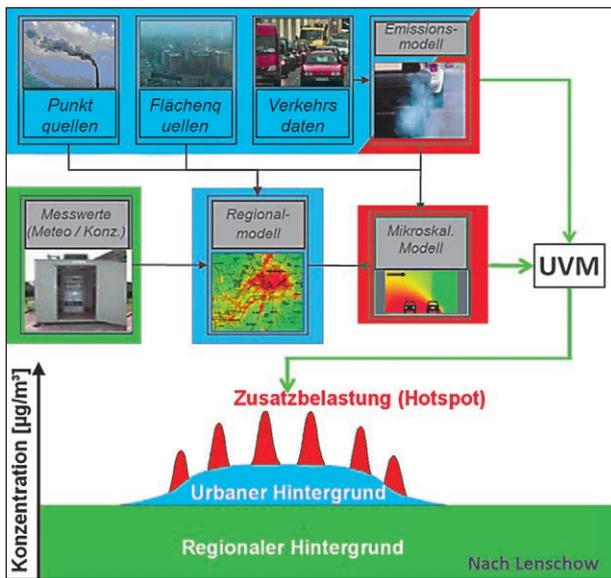


Bild 2-12: Modellierung der Luftqualität mit dem System IMMIS<sup>mt</sup> und Einsatz des Systems im UVM für einen Hotspot (eigene Darstellung IVU)

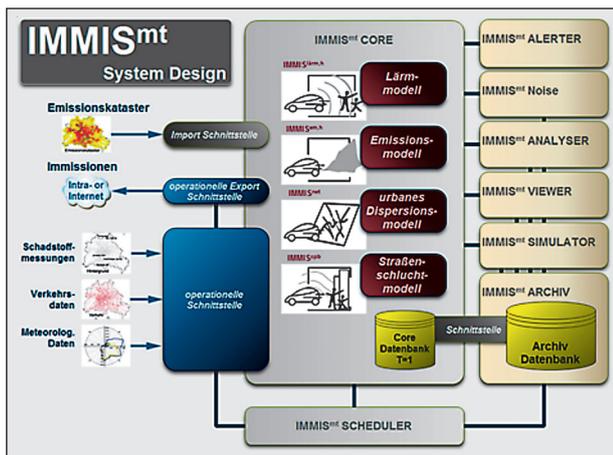


Bild 2-13: Übersicht über das Monitoringsystem IMMIS<sup>mt</sup> (eigene Darstellung IVU)

IMMIS<sup>mt</sup> besteht aus mehreren Modulen und kann für verschiedene Anwendungsfälle individuell konfiguriert werden. Aufgrund des modularisierten Aufbaus können bestehende Datenschnittstellen wie z. B. OCIT flexibel an die vorhandene IT-Infrastruktur angeschlossen werden. Das System ist skalierbar. Damit ist es in der Lage, Datenmengen für wenige Straßen, aber auch für umfangreiche Straßennetze von Großstädten oder Ballungsräumen zu verarbeiten. Alle Eingangs- und Ergebnisdaten können in einer Datenbank archiviert werden. Dabei können je nach Anforderungen einfache dateibasierte Datenbanken oder Client/Server-Datenbanksysteme verwendet werden. Damit können Auswertungen, wie z. B. die Ermittlung statistischer Kenngrößen, vorgenommen werden, die sonst weitreichende Recherchen oder Gutachten erfordern.

### Eingesetzte Modelle

Die Modellierung der Immissionen im Straßenraum berücksichtigt den regionalen Hintergrund, den städtischen Hintergrund sowie die Zusatzkonzentration, die innerhalb eines Straßensegments gebildet wird. Die Emissionen des Verkehrs werden mit dem stündlichen Emissionsmodell IMMIS<sup>em</sup> (IVU Umwelt, 2015) nach dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA<sup>11</sup>) (INFRAS, 2014) und weitere Grundlagen z. B. für PM<sub>10</sub>-AWAR-Emissionen bestimmt. Sie bilden zusammen mit den Emissionen aus einem Emissionskataloger die Eingangsdaten für das städtische Dispersionsmodell IMMIS<sup>net</sup> (IVU Umwelt, 2008) zur Bestimmung des urbanen Hintergrundes für alle Straßen sowie für Hintergrundmessstationen in der Stadt. Anhand der Stationsmesswerte und dem städtischen Anteil lässt sich für jeden Zeitschritt der regionale Hintergrund ableiten. Schließlich wird mit dem Detailmodell IMMIS<sup>cpb</sup> (YAMARTINO & WIEGAND, 1986) die Zusatzkonzentration für jedes Straßensegment für definierte Aufpunkte im Straßenraum berechnet. Für Detailberechnungen in der Mikroskala können auch vorprozessierte Konzentrationsfelder von MISKAM (EICHHORN & KNIFFKA, 2010) verwendet werden.

Für die Berechnung der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung im Straßenraum wird ein einfaches Modell nach BERKOWICZ et al. (1997) benutzt, in dem der NO<sub>2</sub>-Anteil im Autoabgas sowie die NO<sub>2</sub>-Vorbelastung und Verfügbarkeit von Ozon berücksichtigt wird.

### Aufbau des Systems

IMMIS<sup>mt</sup> besteht aus mehreren aufeinander abgestimmten Modellen, deren Ablauf und Datenfluss durch einen Kern (mt-Core) gesteuert und koordiniert wird (Bild 2-13). Ein Scheduler steuert den zeitlichen Ablauf des Gesamtsystems. Darunter fallen im Einzelnen Aufgaben wie die Datenversorgung, das Starten der Modellkette und das Versenden von Meldungen z. B. an das Verkehrsmanagement. Alle Eingangs- und Ausgangsdaten sind durch anpassbare Schnittstellen (OCPI/SOAP/HTTP/ASCII) an das System angebunden. Zur internen Datenhaltung dient eine je nach Anforderung wählbare Datenbank (Oracle, MySQL, SQLITE, MSACCESS o. a.). Die Datenbank enthält alle notwendigen statischen Daten (z. B. Geometrie des

<sup>11</sup> In den vorliegenden Untersuchungen wurde vornehmlich das HBEFA in der Version 3.2 verwendet. In der aktuellen Version von IMMIS<sup>mt</sup> wird bereits HBEFA 3.3 eingesetzt.

Straßennetzes) sowie alle dynamischen Daten für das aktuelle Modellierungsintervall.

In einem separaten Archiv werden die Werte eines Modelllaufs gespeichert. Dabei werden die Eingangswerte (Verkehrsdaten, Meteorologie- und Stationsdaten) eines Modelllaufes, die Zwischenergebnisse (Emissionen) sowie die Ergebnisse gespeichert. Die Daten stehen hierdurch für Auswertungen und Variationen der Simulationen zur Verfügung.

Mit einem eigenständigen Modul eines Simulators besteht die Möglichkeit, für einen ausgewählten Zeitraum Zeitschritte unter geänderten Parametern erneut zu berechnen. Als Datenbasis können die im Archiv gespeicherten Berechnungen genutzt werden.

Im UVM Braunschweig wird IMMIS<sup>mt</sup> von der IVU Umwelt in Freiburg als Dienst betrieben, der über das Verkehrsmanagementsystem SCALA (betrieben von der Bellis GmbH in Braunschweig) die Daten der Stadt Braunschweig zur Verfügung stellt.

Die Datenversorgung des Umweltmoduls erfolgt

- für die Verkehrsdaten über SCALA aus dem Verkehrsmonitoring,
- die Luftmessdaten und meteorologischen Daten aus Datenbereitstellung durch das GAA Hildesheim und
- weitere meteorologische Daten über eine Schnittstelle vom Umweltmodul zu den METAR-Daten vom Flughafen Braunschweig und Hannover.

#### Weitere Module

Das von der Bellis GmbH für die Stadt Braunschweig betriebene Verkehrsmanagementsystem (auf Basis Siemens SCALA) ist die dritte Hauptkomponente des Braunschweiger UVM (Bild 2-9). Es dient als zentrale Datendrehscheibe, in der alle Eingangsdaten (z. B. Verkehrsdetektion, Meteorologie, Immissionsdaten) zusammenlaufen und von wo aus sie an die Monitoringsysteme verteilt werden. Die Ergebnisdaten aus Verkehrs- und Umweltmonitoring laufen in den SCALA zurück und werden dort archiviert. Über die Oberfläche des Verkehrsmanagementsystems können auch die Mitarbeiter der Stadt Braunschweig jederzeit auf die Monitoringdaten zugreifen.

Zudem ist der SCALA für die automatische Auslösung und Rücknahme von UVM-Maßnahmen zu-

ständig. Basierend auf hinterlegten Aktionsplänen werden bei Eintritt festgelegter Kriterien verkehrliche Maßnahmenbündel aktiviert oder wieder deaktiviert. Als Auslösekriterien können beispielsweise das Über- oder Unterschreiten definierter Schwellenwerte im Verkehrs- und Umweltmonitoring oder zeitliche Bedingungen verwendet werden. Über eine Kombination mehrerer Kriterien sind komplexe Steuerungen möglich. Beispielsweise könnte eine UVM-Maßnahme immer dann aktiviert werden, wenn einerseits am Hotspot ein festgelegter NO<sub>2</sub>-Schwellenwert überschritten wird und andererseits gleichzeitig auf den vorgesehenen Ausweichstrecken Schwellenwerte für die Verkehrsstärke nicht überschritten werden. Die Verkehrsmonitoring-Komponente wird über aktivierte Maßnahmen informiert, damit sie diese in ihren Berechnungen berücksichtigen kann.

Um mit genügend Vorlaufzeit proaktiv handeln zu können, ist es wünschenswert, mit den Monitoringsystemen eine Vorhersage der Verkehrs- und Schadstoffentwicklungen für die nächsten Stunden bzw. Tage ermitteln zu können. Beide Systeme wurden daher im Rahmen des Forschungsprojektes UVM-3 um Vorhersagemodule erweitert, welche für die nächsten Stunden (Kurzzeitvorhersage) bzw. Tage (Mittelfristvorhersage) eine Vorhersage der Verkehrs- bzw. Umweltdaten tätigen können. Art und Umfang der Ergebnisdaten sind dabei mit denjenigen aus der normalen Monitorberechnung identisch.

Im Verkehrsmonitoring können in der Kurzzeitvorhersage Verkehrsdaten für die aktuell laufende sowie die beiden folgenden Tagesstunden ermittelt werden. Dazu werden zunächst die querschnittsbezogenen Detektionsdaten auf Basis von relativen, historischen Ganglinien sowie den bislang für den Tag schon vorliegenden aktuellen Messdaten für die nächsten Stunden fortgeschrieben. Auf dieser Datenbasis wird dann im Wesentlichen das normale Rechenmodell des Verkehrsmonitorings angewendet. Die Mittelfristvorhersage für den Folgetag bzw. die Folgetage basiert dagegen ausschließlich auf historischen Daten.

Das Vorhersage-Modul im Umweltmodul IMMIS<sup>mt</sup> verfügt ebenfalls über zwei Vorhersagehorizonte, die Kurzfrist- und die Mittelfristvorhersage. Stündlich wird eine Kurzfristvorhersage erstellt, bei der die Immissionen für die nächsten drei Stunden berechnet werden. Zusätzlich wird täglich eine Mittelfristvorhersage berechnet, bei der die Immissionen für alle Stunden des aktuellen und der zwei folgen-

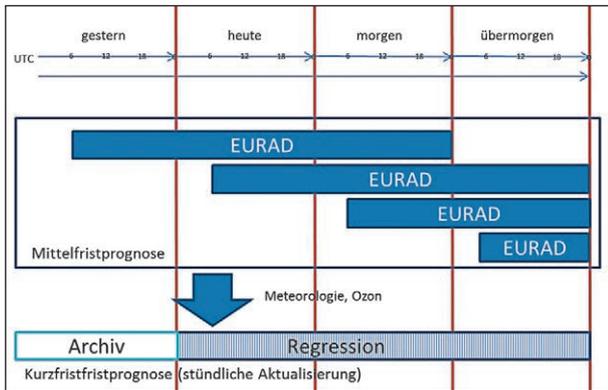


Bild 2-14: Vorhersagehorizonte in IMMIS<sup>mt</sup> (eigene Darstellung IVU)

den Tage vorhergesagt werden. Das Schema der Methoden zur Schadstoffvorhersage ist in Bild 2-14 dargestellt.

Beide Module wurden im Rahmen des Forschungsprojektes getestet und evaluiert. Der Regelbetrieb wurde jedoch bislang von der Stadt Braunschweig noch nicht beauftragt.

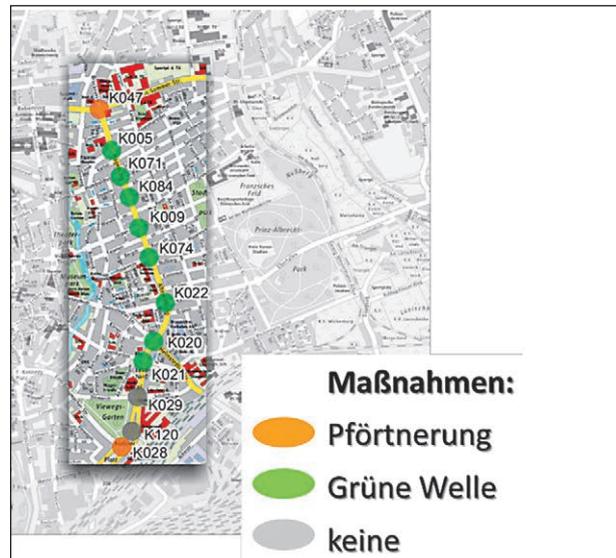
**2.1.4 Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium**

Grundsätzlich sind mit dem UVM-Braunschweig alle für ein UVM typischen verkehrlichen Maßnahmen (vgl. Kapitel 1) umsetzbar. Die Anpassung der Steuerung von Lichtsignalanlagen ist dabei das wichtigste Werkzeug. Der größte Teil der LSA-gesteuerten Knotenpunkte in Braunschweig kann direkt über das Verkehrsmanagementsystem beeinflusst werden und ist somit auch potenziell für UVM-Maßnahmen nutzbar. Für Informationszwecke können auch Wechselverkehrszeichen und frei programmierbare Informationstafeln vom Verkehrsmanagement gesteuert werden. Bislang gibt es allerdings in Braunschweig vergleichsweise wenige Informationstafeln, die zudem nicht immer an geeigneten Standorten stehen.

**Hotspot Altewiekring**

Auf dem östlichen Innenstadtring wurde als UVM-Maßnahme eine Kombination aus Zuflusssdosierung und Verstetigung des Verkehrsflusses im kritischen Abschnitt ausgewählt.

Eine Verlagerung von Verkehrsströmen in nahegelegene Nebenstraßen ist dabei zu vermeiden. Auch eine etwas großräumigere Umfahrung kommt nicht in Betracht, da sich auf der möglichen Ausweichroute mit dem Bohlweg ein weiterer Streckenabschnitt mit kritischer Immissionsbelastung



Knotenpunkt	Maßnahme	Maßnahme	Maßnahme
K047	Hagenring	/	Brucknerstraße
K005	Hagenring	/	Gliesmaroder Str.
K071	Hagenring	/	Humboldtstr.
K084	Hagenring	/	Heinrichstr.
K009	Hagenring	/	Jasperallee
K022	Altewiekring	/	Kastanienallee
K020	Altewiekring	/	Helmstedter Str.
K021	Altewiekring	/	Leonhardstr.
K029	Berliner Platz	/	Schillstr.
K120	Berliner Platz	/	Hauptpost
K028	Berliner Platz	/	Kurt-Schumacher-Str.

Bild 2-15: Überblick UVM-Maßnahme Altewiekring (Bellis)

befindet. Zudem weist der östliche Ring nur einen vergleichsweise geringen Anteil Durchgangsverkehr auf, so dass das Verlagerungspotential ohnehin eng begrenzt wäre.

Bild 2-15 gibt einen Überblick über die von der UVM-Maßnahme „Altewiekring“ betroffenen Knotenpunkte. Zwischen den Knoten K005 und K021 wird durch die Maßnahme in beiden Richtungen das Grünband für die Hauptrichtung verbreitert und zudem werden die Versatzeiten optimiert. Dazu werden die Freigabezeiten für die Nebenrichtungen sowie zum Teil für die Fußgänger eingeschränkt.

Am Knoten K009 werden die Nebenrichtungen im Maßnahmenfall gemeinsam in einer Phase abgewickelt, während sie sonst aus Komfortgründen in zwei getrennten Phasen geführt werden.



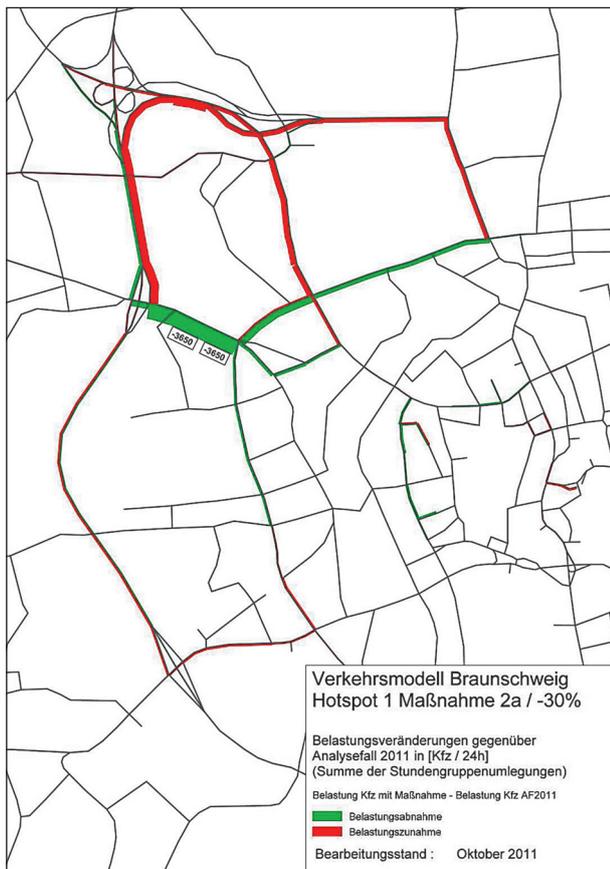


Bild 2-17: Hotspot Hildesheimer Straße, verkehrliche Wirkung der Maßnahme 2a, Stufe 3 (eigene Darstellung WVI)

bieger Richtung A391 verlängert, so dass für die Verkehrsteilnehmer eine Umfahrung des Hotspotbereichs über die A391 und im weiteren Verlauf Hamburger Straße oder Celler Straße attraktiver wird.

Im Zulauf auf die Autobahnauffahrt befindet sich eine frei programmierbare Informationstafel, über welche die Verkehrsteilnehmer gut über die geschaltete UVM-Maßnahme und die daraus resultierende Umleitungsempfehlung informiert werden können.

Bild 2-17 zeigt beispielhaft die mit der Maßnahme 2a in Stufe 3 (stärkste Dosierung) erzielbare Verlagerungswirkung bezogen auf einen kompletten, durchschnittlichen Werktag. Insgesamt können durch die Maßnahme je nach Eingriffsschwere zwischen 8 % und 28 % des stadteinwärts fahrenden Verkehrs (das entspricht zwischen 4 % und 14 % des Gesamtverkehrs am Querschnitt) verlagert werden. Für die verbleibende Verkehrsmenge im Hotspotbereich ergibt sich durch Vermeidung des Rückstaus eine deutliche Verbesserung des Level-Of-Service (LOS).

### 2.1.5 Ablauf der Aktivierung/Deaktivierung der Maßnahme

Bisher wurden Maßnahmen in Braunschweig nur zu Forschungs- und Entwicklungszwecken aktiviert. Nach Aussage der Stadt Braunschweig ist es geplant, künftig Maßnahmen in Abhängigkeit von noch vorzugebenden  $\text{NO}_2$ -Schwellenwerten zu aktivieren. Allerdings wurde in den letzten Jahren der Stickstoffdioxid-Grenzwert an den beiden Hotspots auch ohne UVM jeweils knapp eingehalten.

## 2.2 Erfurt

Die Landeshauptstadt Erfurt verfolgt das Ziel, mit intelligenten Maßnahmen des Verkehrsmanagements und gezielten Eingriffen in die Verkehrssteuerung einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der verkehrsbedingten Emissionen und damit der Gesamtimmissionsbelastung durch Stickstoffdioxid und Feinstaub zu leisten. Der verfolgte prozessorientierte Gesamtansatz eines integrierten Verkehrs- und Umweltmanagements beinhaltet im Wesentlichen die zwei Schwerpunkte:

- Verstetigung des Verkehrsflusses zur Vermeidung emissionsintensiver Fahrzustände (Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge) sowie
- Verkehrsverlagerung und Verkehrslenkung zur (zeitweisen) Reduktion von Verkehrsmengen.

Er beinhaltet neben der Umsetzung der Maßnahmen zur Verkehrssteuerung auch den Aufbau neuer bzw. die Erweiterung vorhandener Systemkomponenten des Verkehrsmanagements für die Zwecke:

- Monitoring und Analyse von Meteorologie-, Umwelt- und Verkehrsdaten,
- Strategiemangement zur kontinuierlichen umweltsensitiven Verkehrssteuerung sowie
- kontinuierliche Wirkungsermittlung der umgesetzten Maßnahmen.

Im Fokus steht eine gesamtstädtische Betrachtung mit Maßnahmen der Verkehrssteuerung (Zuflussdosierung auf allen radialen Hauptverkehrsstraßen) sowie der kollektiven (und zukünftig auch individuellen) Verkehrsinformation. Dazu werden Verkehrsmeldungen in Form von virtuellen Verkehrsinformationstafeln und insbesondere strategiekonforme Routinginformationen im DATEX-II-Format über den Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM) publiziert.

Diese können durch Navigationsanbieter abgerufen werden und sind damit für das individuelle Routing im Fahrzeug verfügbar.

Für die ganzheitliche Umsetzung eines umweltorientierten Verkehrsmanagements in Erfurt wurden ein Systemkonzept und ein Maßnahmenpaket entwickelt, das im Produktivbetrieb einen flexiblen dynamischen Einsatz ermöglicht, da die implementierten Steuerungsstrategien, je nach aktueller Verkehrs- und Umweltsituation, räumlich und insbesondere auch zeitlich differenziert eingesetzt werden können.

In einer ersten Stufe wurden in den Jahren 2011-2013 zur Prüfung der Realisierbarkeit dieses Ansatzes und zur Abschätzung der mit Maßnahmen des umweltorientierten Verkehrsmanagements erzielbaren verkehrlichen und umweltseitigen Wirkungen zwei Pilotmaßnahmen als Forschungsvorhaben „Umweltsensitive Verkehrssteuerung Erfurt (UVE)“ geplant, umgesetzt und nach einer Laufzeit von jeweils einem Jahr wissenschaftlich evaluiert.

Zum einen handelt es sich dabei um den Straßenzug Talstraße / Bergstraße im Zuge des die Innenstadt umschließenden Stadtringes (ca. 800 m). Dieser stellt gleichzeitig den hinsichtlich der Luftschadstoffbelastung ungünstigsten innerstädtischen Hotspot dar.

Zum anderen handelt es sich dabei um den Straßenzug Leipziger Straße im Zuge einer radialen Hauptverkehrsstraße zwischen Schnellstraßenring und Stadtring (ca. 3.400 m). Dieser stellt das insbesondere mit umfangreicher Immissionsdatenerfassung ausgestattete Testfeld für eine typische Erfurter Radialstraße dar.

In einer zweiten Stufe wurde in den Jahren 2013-2015 die umweltorientierte Verkehrssteuerung auf den beiden Straßenzügen in einen automatisierten Regelbetrieb überführt. Als weitere radiale Hauptverkehrsstraße wurde die Nordhäuser Straße mit Zuflussdosierung ausgestattet. Zentralenseitig wurde ein Strategiemangementsystem aufgesetzt, das eine Aktivierung der Zuflussdosierung auf Basis der aktuellen Verkehrs- und Umweltsituation zeitlich differenziert veranlasst. Es realisiert auf Basis der aktuellen Verkehrs-, Parkraum- und Umweltsituation eine kollektive Information der Verkehrsteilnehmer über die Verkehrsinformationstafeln an allen 11 radialen Hauptverkehrsstraßen.

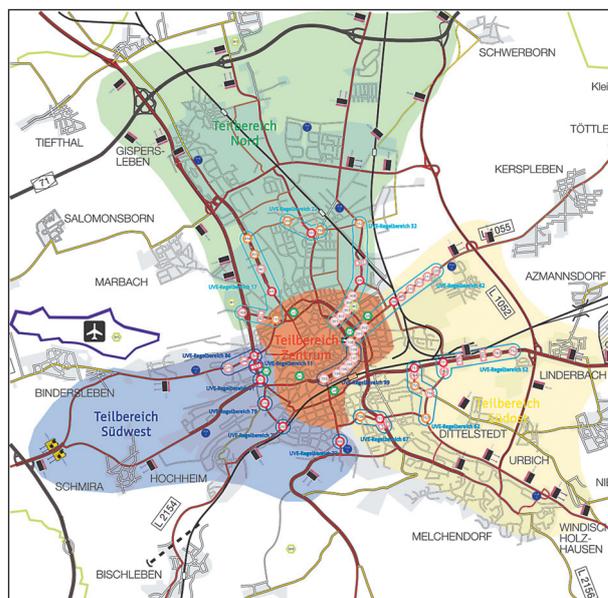


Bild 2-18: UVM Erfurt – Übersicht (UVM-EF-GK, 2015)

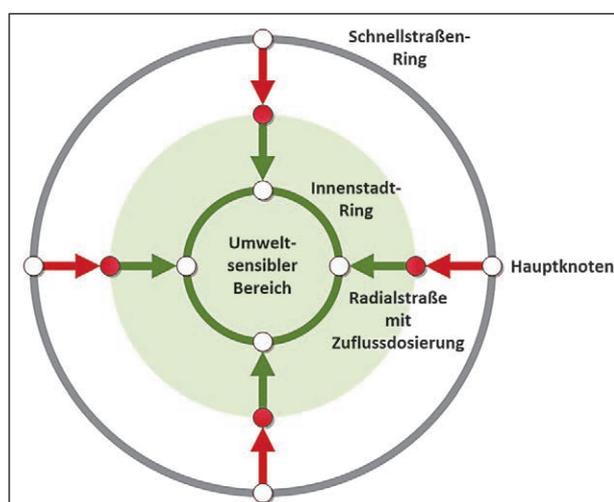


Bild 2-19: UVM Erfurt – Grundprinzip Zuflussdosierung (pwp)

Neben den seit 2013 kontinuierlich automatisiert auflaufenden Meteorologie-, Umwelt- und Verkehrsdaten liegen für diese beiden ersten realisierten Ausbaustufen umfangreiche Datenauswertungen zur Wirkungsermittlung vor.

In einer dritten Stufe wird derzeit im Zeitraum vom 01.04.2017 bis 31.12.2021 das System gesamtstädtisch in 4 Schritten mit den Teilbereichen Zentrum, Südwest, Nord und Südost ausgerollt. Dabei werden u. a. die weiteren 9 radialen Hauptverkehrsstraßen mit Zuflussdosierung ausgestattet und so das Gesamtsystem komplettiert.

Die Übersichtskarte (Bild 2-18) zeigt die Lage wesentlicher Feldelemente des UVM Erfurt: Zuflussdosierung Hauptroute (rot), Zuflussdosierung Neben-

route (orange), Überwachung Überstauung Knotenpunkt (rosa), Regelbereiche Koordinierung (blau), Immissionsmessstellen der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (grün) sowie stationäre und virtuelle Verkehrsinformationstafeln (schwarz). Weitere Immissionsmessstellen waren während der Pilotvorhaben zu Evaluationszwecken in Betrieb.

Das Grundprinzip der Zuflussdosierung am weitgehend vollständig existierenden Ring-Radialen-System zeigt Bild -19.

### 2.2.1 Gebietsbeschreibung

Erfurt, die Landeshauptstadt des Freistaates Thüringen, hat ca. 210.000 Einwohner und bedeckt eine Fläche von 270 km<sup>2</sup>. Das Stadtgebiet wird durch einen Schnellstraßenring umschlossen. Dieser besteht aus der Bundesautobahn A4 im Süden, der Bundesautobahn A71 im Westen und Norden sowie der Bundesstraße B7 und der Landesstraße L1056 im Osten (Teilstrecken als Ostumfahrung bezeichnet).

Ein Stadtring umschließt die Innenstadt, ein weiter innen liegender nicht vollständiger Zentrumsring dient der Erschließung des Zentrums, hier ist der größte Teil der öffentlichen Parkhäuser und Tiefgaragen angeordnet. Der Bereich innerhalb des Zentrumsringes ist verkehrsberuhigt bzw. Fußgängerzone.

Die Verbindung zwischen dem Schnellstraßenring und innerstädtischen Stadtring wird über insgesamt 11 (davon 9 durchlaufende) radiale Hauptverkehrsstraßen gebildet.

Die Hauptlast des ÖPNV tragen 6 Stadtbahnlinien, die durch Stadt- und Regionalbuslinien ergänzt werden.

Der umweltsensible Bereich der Landeshauptstadt Erfurt umfasst die Innenstadt sowie die umgrenzten gründerzeitlichen Vorstädte. Er entspricht der ausgewiesenen Umweltzone.

Im Stadtgebiet von Erfurt führt die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) Immis-

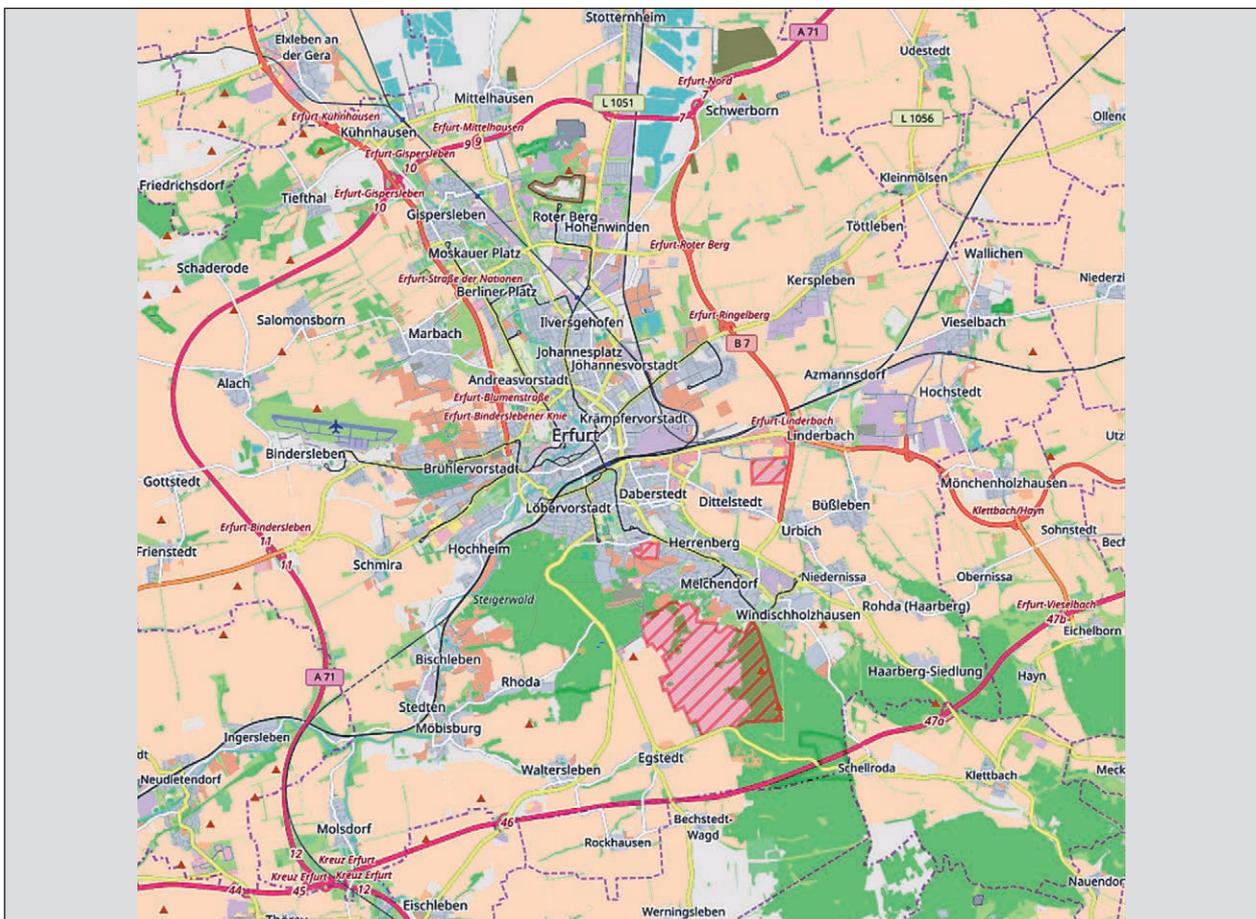


Bild 2-20: Erfurt – Hauptstraßennetz (Kartendaten © OpenStreetMap und Mitwirkende, BY-CC-SA)

sionsmessungen an mehreren Messstationen durch (vgl. Bild 2-21, grün markiert). Für die vorliegende Untersuchung relevant ist die Messstelle U2 (Bergstraße, Typ Verkehr) am Hotspot Talstraße/Bergstraße sowie die Messstellen U1 (Krämpferstraße, Typ städtisch) und U6 (Altonaer Straße, Typ Verkehr) in der Leipziger Straße.

## 2.2.2 Beschreibung der Hotspots

### Talstraße / Bergstraße

Im Fokus der ersten UVM-Pilotmaßnahme und des nunmehr seit 2014 laufenden Regelbetriebs steht die Thematik Verstetigung des Verkehrsablaufes

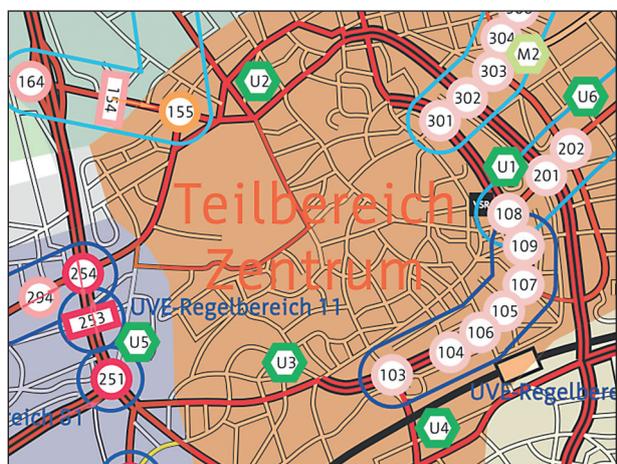


Bild 2-21: UVM Erfurt – Immissionsmessstellen TLUG (grün) (UVM-EF-GK, 2015)

durch Optimierung der LSA-Steuerung. Es wurden verschiedene Steuerungsstrategien am Knotenpunkt Talstraße / Auenstraße (Lage am Beginn der Bergstraße) implementiert und hinsichtlich ihres Wirkungspotenziales untersucht.

### • Räumliche Lage

Der Straßenzug hat eine Länge von 770 Metern und ist Teil des nördlichen Stadtringes. Er verläuft vom Knotenpunkt Magdeburger Allee / Stauffenbergallee (Talknoten) in westlicher Richtung über Talstraße und Bergstraße bis zum Knotenpunkt Nordhäuser Straße / Bergstraße (Bild 2-22). Es handelt sich um einen Querschnitt mit 2 Fahrstreifen (Einbahnstraße). Die Bergstraße weist in diesem Bereich eine Steigung von +3% auf. Die zulässige Geschwindigkeit beträgt (vorrangig aus Gründen des Lärmschutzes) 30 km/h.

Der Knotenpunkt Talstraße / Auenstraße teilt die untersuchte Strecke in zwei Abschnitte: die Bergstraße mit dem ursächlich umweltkritischen Bereich (Hotspot) und die stromaufwärts gelegene Talstraße. Im Bereich der Talstraße war (neben der TLUG-Messstation Bergstraße) für den Zeitraum der UVM-Pilotmaßnahme eine zusätzliche Immissionsmessstelle in Betrieb, um die umweltseitigen Auswirkungen der angepassten LSA-Steuerung abschnittsweise bestimmen zu können.



Bild 2-22: UVM Erfurt – Talstraße / Bergstraße (pwp; Karte: © OpenStreetMap und Mitwirkende, BY-CC-SA)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
PM10-JM für Krämpferstraße	23	23	19	19	18	17
PM10-JM für Bergstraße	30	29	26	25	26	22
Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittel-werten > 50µg/m <sup>3</sup> für Krämpferstraße	22	21	13	11	13	3
Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittel-werten > 50µg/m <sup>3</sup> für Bergstraße	41	40	22	23	31	10
NO <sub>2</sub> -JM für Krämpferstraße	25	26	22	22	21	23
NO <sub>2</sub> -JM für Bergstraße	41	43	38	39	38	37

Tab. 2-2: Überschreitungszahlen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes und PM10-Jahresmittelwert (JM) sowie NO<sub>2</sub>-JM-Werte der Jahre 2010 bis 2015 an Messstationen in Erfurt. Konzentrationen in µg/m<sup>3</sup>. Fett = Grenzwertüberschreitung. Hinweis: Die dargestellten Messergebnisse beinhalten seit 2013 bereits die Wirkung des UVM.

### • Luftschadstoffsituation

Tabelle 2-2 nennt für die Jahre 2010 bis 2015 die Überschreitungszahlen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes und den PM10-Jahresmittelwert (JM) sowie die NO<sub>2</sub>-JM-Werte an den Messstationen Bergstraße und Krämpferstraße.

Demnach wurden in den Jahren 2010 und 2011 in der Bergstraße mehr als die erlaubten 35 Tage mit PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen festgestellt. Der höchste PM10-Jahresmittelwert dieses Zeitraumes wurde mit 30 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2010 gemessen. Die lokale verkehrsbedingte PM10-Zusatzbelastung an der Bergstraße lag in diesem Zeitraum bei ca. 21%.

Der höchste NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert dieses Zeitraumes an der Bergstraße wurde mit 43 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2011 gemessen. Die lokale verkehrsbedingte NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastung an der Bergstraße lag in diesem Zeitraum bei ca. 54 %.

Die Länge des von NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen betroffenen Straßenabschnittes der Bergstraße beträgt ca. 400 m, in dem ca. 200 Betroffene wohnen.

### • Lärmsituation

Gemäß Lärmaktionsplan der Landeshauptstadt Erfurt (Hauptverkehrsstraßen Stufe 2) beträgt die Lärmbelastung L<sub>Night</sub> = 64 dB(A).

### • Verkehrliche Situation

Das durchschnittlich tägliche Verkehrsaufkommen liegt im Straßenzug Talstraße / Bergstraße Mo-Fr bei 13.300 Kfz. Am Ende des Straßenzuges wird mit der Nordhäuser Straße eine stark befahrene Hauptradiestraße gekreuzt. In deren Achse verlaufen zwei Stadtbahnlinien jeweils im 10-min-Takt mit weitreichender ÖPNV-Priorisierung und damit maßgeblichem Einfluss auf den Verkehrsablauf in der Bergstraße (im Ausgangszustand zahlreiche Anhalte- und Anfahrvorgänge im unmittelbaren Bereich der Immissionsmessstelle).

Bedingt durch den seit 2007 geschlossenen Erfurter Schnellstraßenring ist nur ein geringer Anteil des Verkehrsaufkommens dem Durchgangsverkehr zuzurechnen. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 3,4 %.

### Leipziger Straße

Die durch Optimierung der LSA-Koordinierung zur Verstetigung des Verkehrsflusses im Bereich der innerstädtischen Hotspots erzielbaren Wirkungen sind je nach örtlichen Randbedingungen u. U. alleine noch nicht ausreichend für die angestrebte dauerhafte Einhaltung der Immissionsgrenzwerte.

Im Fokus der zweiten Pilotmaßnahme und des nunmehr seit 2014 laufenden Regelbetriebs steht die Thematik Verkehrsverlagerung durch eine (nach aktueller Verkehrs- und Umweltsituation zeitlich begrenzte) Zuflussdosierung des über die radialen Hauptverkehrsstraßen auf die Innenstadt als umweltsensiblen Bereich zulaufenden Verkehrs, die eine Reduktion der Verkehrsmengen im Bereich der innerstädtischen Hotspots bewirkt.

### • Räumliche Lage

Der untersuchte Straßenzug der Leipziger Straße hat eine Länge von 3.410 Metern und stellt eine der 9 Hauptradialen zwischen dem Erfurter Schnellstraßenring (hier Ostumfahrung B7) und dem Stadtring (Innenstadt) dar. Er verläuft vom Knotenpunkt Leipziger Straße / Walter-Gropius-Straße in westlicher Richtung bis zum Knotenpunkt Leipziger Straße / Stauffenbergallee (Stadtring). In seinem Verlauf befinden sich 12 LSA (Bild 2-23). Es handelt sich um einen Querschnitt mit 2 Fahrstreifen und Stadtbahn auf separatem Bahnkörper in Mittellage. Die zulässige Geschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Der Knotenpunkt Leipziger Straße / Am Alten Nordhäuser Bahnhof teilt als Zuflussdosierungsquerschnitt die untersuchte Strecke in zwei Abschnitte: stromabwärts bis zur Stauffenbergallee (Stadtring) befindet sich ein dicht bebauter umweltsensibler

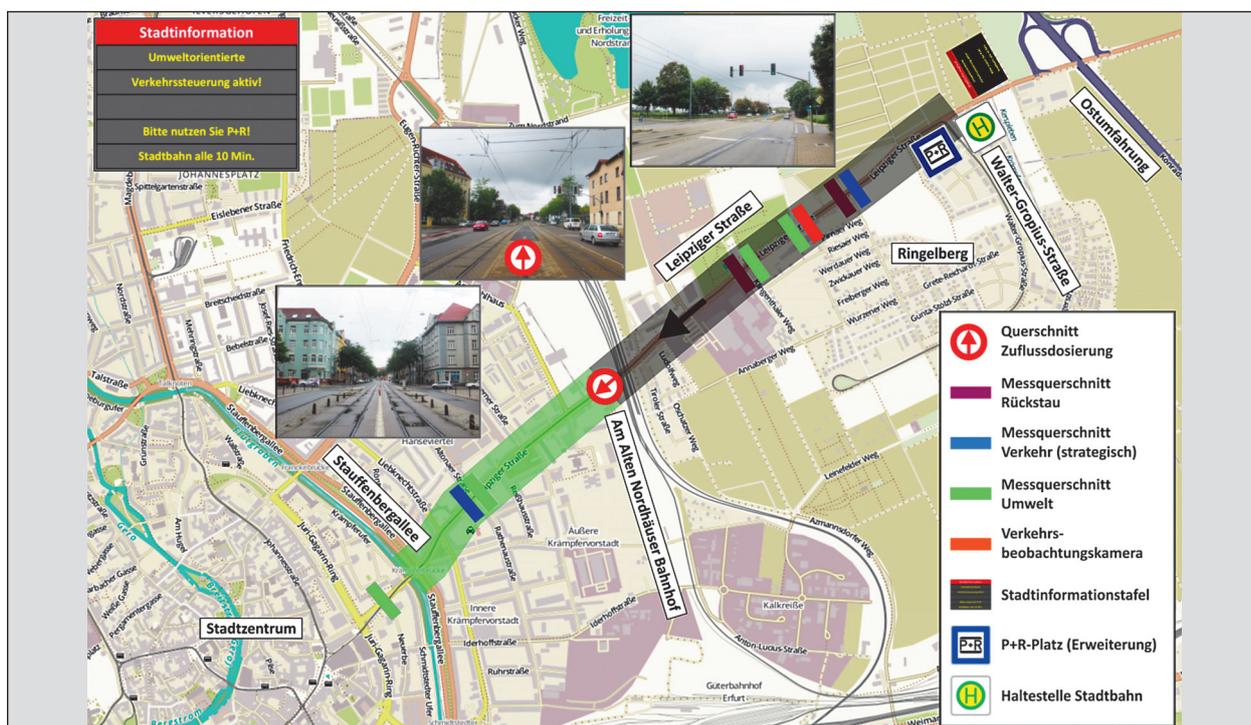


Bild 2-23: UVM Erfurt –Leipziger Straße (pwp; Karte: © OpenStreetMap und Mitwirkende, BY-CC-SA)

Bereich, stromaufwärts bis zur Walter-Gropius-Straße befindet sich ein weniger dicht bebauter und gut durchlüfteter Bereich, wo ein Rückstau durch die Zuflussdosierung weit weniger kritisch ist. Im Bereich der Leipziger Straße waren (neben den TLUG-Messstationen Krämpferstraße und Altonaer Straße) für den Zeitraum der UVM-Pilotmaßnahme weitere 6 zusätzliche Immissionsmessstellen an 3 Messquerschnitten in Betrieb, um die umweltseitigen Auswirkungen der Zuflussdosierung stromabwärts und stromaufwärts des Dosierungsquerschnitts abschnittsweise bestimmen zu können.

#### • Luftschadstoffsituation

Da es sich bei der Leipziger Straße um eine der 9 Hauptradialen als Zufahrt zu den innerstädtischen Hotspots handelt, wird an dieser Stelle auf die Beschreibung der Luftschadstoffsituation in der Innenstadt (vgl. Hotspot Talstraße/Bergstraße) verwiesen.

#### • Lärmsituation

Gemäß Lärmaktionsplan der Landeshauptstadt Erfurt (Hauptverkehrsstraßen Stufe 2) beträgt die Lärmbelastung je nach Lage  $L_{\text{Night}} = 58\text{-}61$  dB(A).

#### • Verkehrliche Situation

Das durchschnittlich tägliche Verkehrsaufkommen liegt Mo-Fr bei 17.000 Kfz (beide Fahrrichtungen). Der in stadteinwärtiger Fahrtrichtung letzte 960 Me-

ter lange Abschnitt vor dem Stadtring stellt wegen der Bebauungs- und Belüftungssituation einen umweltsensiblen Bereich dar, der in der Ausgangssituation in der Morgenspitze durch zähfließenden Verkehr gekennzeichnet war.

Durch die Zuflussdosierung am Knotenpunkt Leipziger Straße / Am Alten Nordhäuser Bahnhof in stadteinwärtiger Fahrtrichtung kann nunmehr nur so viel Verkehr in den kritischen Streckenabschnitt einfahren, wie umweltverträglich und im Regelfall ohne Behinderungen bis zur Stauffenbergallee abgewickelt werden kann. Der sich als Konsequenz in Spitzenzeiten aufbauende Rückstau vor dem Dosierungsquerschnitt verlagert den Verkehr stromaufwärts in unkritische, da weniger bewohnte und besser durchlüftete Streckenabschnitte.

Bedingt durch den seit 2007 geschlossenen Erfurter Schnellstraßenring ist nur ein geringer Anteil des Verkehrsaufkommens dem Durchgangsverkehr zuzurechnen. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 3,4%.

### 2.2.3 Beschreibung des UVM-Systems

In Erweiterung der vorhandenen Verkehrsrechnerzentrale hat die Landeshauptstadt Erfurt in den Jahren 2013/2015 eine Verkehrsmanagementplattform (VMP) aufgebaut (Bild 2-24). Die VMP besteht aus drei softwareseitig getrennten Teilsystemen:

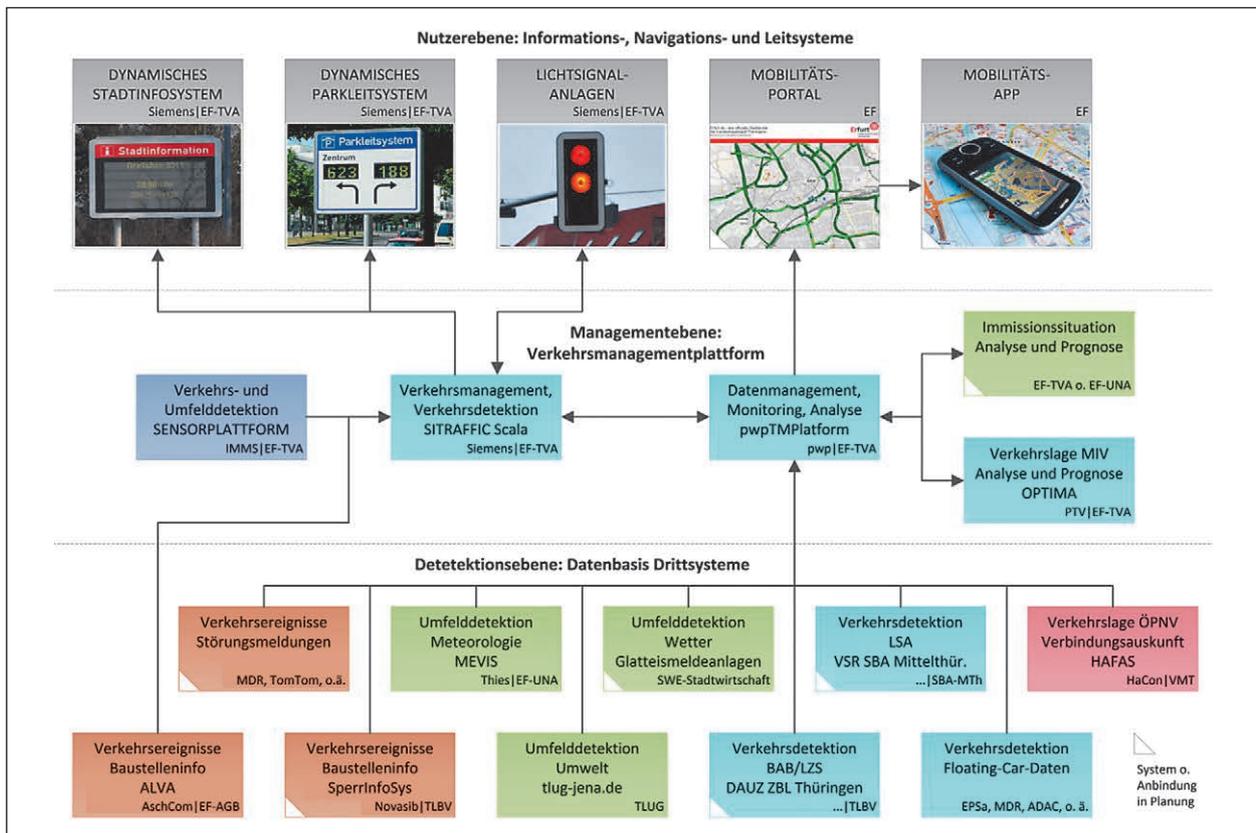


Bild 2-24: VMP Erfurt – Systemaufbau (pwp)

- SITRAFFIC Scala – Verkehrsrechnerzentrale
- pwpTMPlattform – Verkehrs- und Umweltdatenmanagement und
- OPTIMA – Verkehrslageanalyse und -vorhersage

Unter dem Begriff Verkehrsmodul wird im weiteren Verlauf die VMP mit ihren drei Teilsystemen verstanden.

Das umweltorientierte Verkehrsmanagement ist neben dem Parkraummanagement Innenstadt und der Bedarfsumleitungen BAB A4/A71 ein Maßnahmenbereich des Strategiemanagements, das in den VMP-Teilsystemen pwpTMPlattform (Situationsermittlung) und SITRAFFIC Scala (Maßnahmenermittlung und -umsetzung) implementiert und konfiguriert ist.

### Verkehrsmodul

#### Verkehrsrechnerzentrale

Das Verkehrsrechnersystem SITRAFFIC Scala ist seit vielen Jahren erfolgreich bei der Landeshauptstadt Erfurt im Einsatz. Es deckt mit den zahlreichen vorhandenen Teilmodulen die Bereiche Verkehrsmanagement, Verkehrssteuerung, Parkleiten einschließlich der Schnittstellen zur Anbindung an Drittsysteme ab. An die Verkehrsrechnerzentrale ange-

bunden sind der größte Teil der Lichtsignalanlagen, die strategischen Messquerschnitte, das Parkleitsystem, das Stadtinformationssystem und das Baustelleninformationssystem. Die Datenversorgung umfasst Verkehrsdetektion und Verkehrereignisse.

#### Verkehrs- und Umweltdatenmanagement

Die pwpTMPlattform ist eine serverbasierte Software zur kontinuierlichen Verarbeitung von Verkehrs- und Umweltdaten (Datenmanagement, Datenmonitoring und Datenanalyse), beginnend bei den Datenquellen (z. B. Verkehrs- oder Umweltdatenrechner etc.), über die Verkehrslagegenerierung (Datenversorgung Verkehrslagesysteme) bis zur Bereitstellung von aufbereiteten Daten an nachgelagerte Systeme (z. B. Datenaustauschplattformen, Verkehrsinformationssysteme, Mobilitätsportale, Routing-Anwendungen, Ausbreitungsmodelle).

Die pwpTMPlattform ermöglicht eine langfristige Archivierung und eine kontinuierliche Qualitätsanalyse von punktbezogenen Daten (z. B. ortsfeste und mobile Detektion Verkehr sowie ortsfeste Detektion Umwelt), und linienbezogenen Daten (z. B. Verkehrslagedaten aus modellbasierten Verkehrslagesystemen und aus Floating-Car-Data-Systemen). Für das Datenmanagement verfügt die pwpTMPlat-

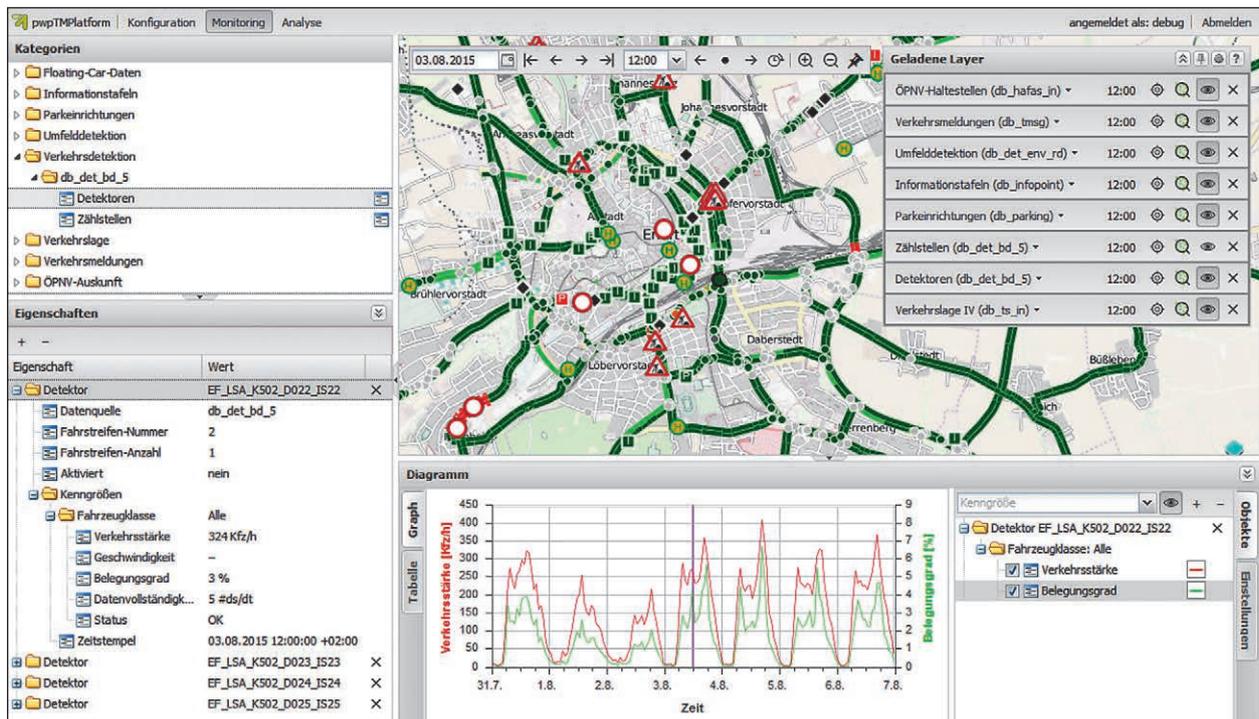


Bild 2-25: VMP Erfurt – pwpTMPlatform (pwp)

form über zahlreiche standardisierte Import- und Export-Schnittstellen (OCITC, DATEX II etc.).

Bild 2-25 zeigt die pwpTMPlatform Erfurt im Arbeitsbereich Monitoring mit den eingebundenen Datenquellen: Verkehrsdetektion (Detektoren, Zählstellen), Umfelddetektion, Verkehrsereignisse (Baustellen, Veranstaltungen, Verkehrsstörungen), Parkeinrichtungen, Informationstafeln, ÖPNV-Haltestellen sowie der Verkehrslage (aus OPTIMA).

Die Datenversorgung umfasst neben Verkehrsdetektion und Verkehrsereignissen (beides über die Schnittstelle zur Verkehrsrechnerzentrale) auch die Umfelddetektion (Umweltmessstationen der TLUG; Meteorologiemessstationen der LH Erfurt) und die ÖPNV-Daten (Haltestellenauskunft Verkehrsverbund Mittelthüringen (VMT)).

#### Verkehrslageanalyse und Vorhersage

Das Softwareprodukt PTV OPTIMA ist als Kernkomponente von Verkehrslagesystemen im Einsatz und deckt den Bereich der verkehrsmodellbasierten und detektorgestützten Berechnung einer Online-Verkehrslage mit Analyse und Vorhersage ab (Bild 2-26).

OPTIMA liegt ein dynamisches Verkehrsumlegungsverfahren zugrunde, mit dem modellbasiert auf Grundlage punktueller Detektordaten des Verkehrs in kurzen Zeitintervallen flächendeckende Informationen zu aktueller Verkehrslage und Ver-

kehrsvorhersage für große Verkehrsnetze berechnet werden können. OPTIMA ist durch folgende Leistungsmerkmale gekennzeichnet:

- Berechnung einer netzweiten Verkehrslage (Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Rückstaulänge) auf Grundlage punktuell erfasster Verkehrsdaten),
- Fortschreibung der netzweiten Verkehrslage für spätere Zeithorizonte (Kurzfristvorhersage),
- Nutzung einer nach Tageskategorien und Tageszeiten differenzierten Verkehrsnachfrage (4 Tageskategorien, 24 Stunden-Matrizen),
- Berücksichtigung von Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten der ortsfesten Detektion,
- Berücksichtigung von geplanten Baustellen im Netz durch zeitlich befristete Kapazitätsreduktion der betreffenden Streckenelemente,
- Integration von Floating-Car-Daten (je nach Verfügbarkeit als vorverarbeitete streckenbezogene Fahrzeiten oder als Floating-Car-Rohdaten und
- Berechnung der Verkehrslage in Echtzeit und Bereitstellung der Ergebnisse in 5Minuten-Intervallen.

Die Datenversorgung von OPTIMA und die Weiterverarbeitung der Verkehrslagedaten wird über eine Schnittstelle zur pwpTMPlatform realisiert.

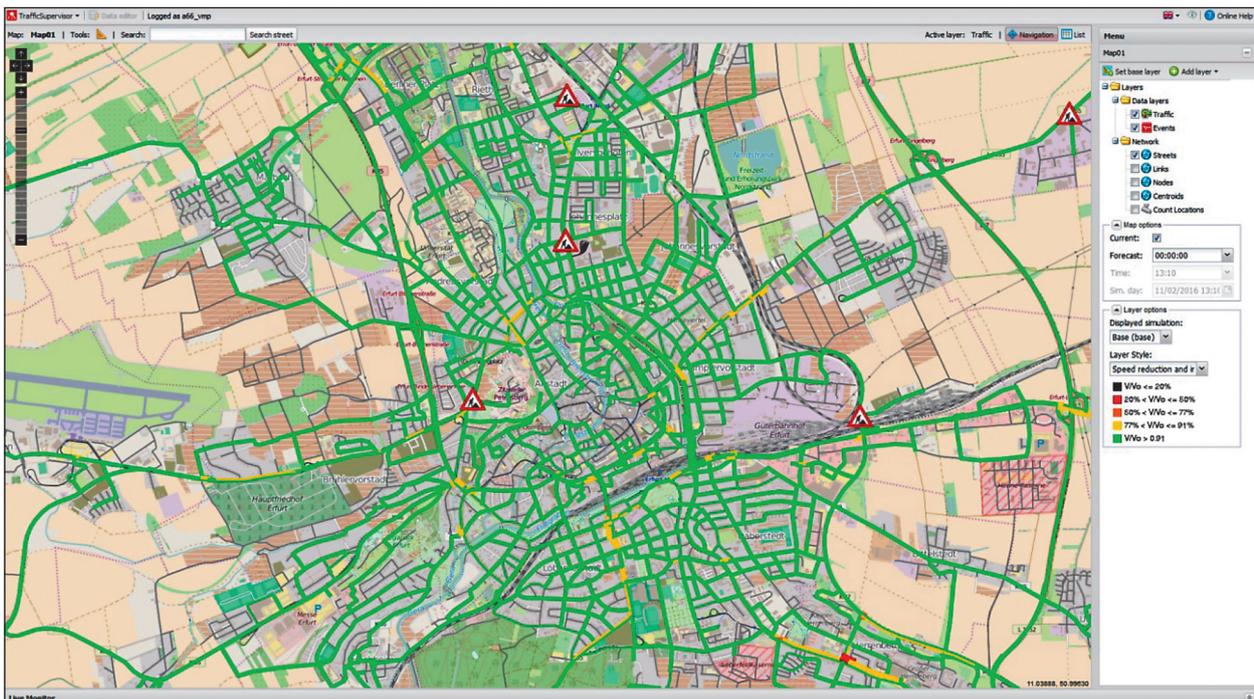


Bild 2-26: VMP Erfurt – OPTIMA (PTV)

### Umweltmodul

In der bislang realisierten zweiten Ausbaustufe (vgl. Kapitel 2.2) erfolgt das Umweltmonitoring auf Basis der auflaufenden Daten der meteorologischen Messstationen der LH Erfurt und der Umweltmessstationen der TLUG. Diese Daten werden kontinuierlich durch die pwpTMPlatform analysiert. Die Immissionsdaten werden dabei unmittelbar als Parameter in der umweltorientierten Verkehrssteuerung berücksichtigt.

In der laufenden dritten Ausbaustufe zur Komplettierung des gesamtstädtischen UVM-Systems soll ein Monitoringsystem zur Überwachung und Vorhersage der stadtweiten Luftschadstoffbelastung integriert werden (vgl. Bild 2-24, Modul „Immissionssituation Analyse und Vorhersage“). Damit können neben den derzeit verwendeten aktuellen Immissionsdaten zusätzlich auch die Immissionsvorhersagedaten als Parameter in der umweltorientierten Verkehrssteuerung berücksichtigt werden.

Die Ermittlung der verkehrlichen Emissionen erfolgte im Rahmen der beiden benannten UVM-Pilotvorhaben unter Berücksichtigung der netzweit in kurzen Zeitintervallen verfügbaren Verkehrslagedaten (Verkehrsmengen nach Fahrzeugklassen, mittlere Geschwindigkeiten, abgeleitete HBEFA-Verkehrssituationen), dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 3.2, INFRAS) und weiterer Grundlagen z. B. für PM10-Auf-

wirbelung und Abrieb (AWAR)-Emissionen. Die Abschätzung des Anteils der verkehrlichen Emissionen auf die Gesamt-Immissionsbelastung an den Hotspots im Rahmen der Wirkungsermittlung berücksichtigt die regionale und städtische Hintergrundbelastung sowie die Zusatzkonzentration an den jeweiligen Streckenabschnitten.

### Zusammenspiel der Module

Im SITRAFFIC Scala laufen kontinuierlich die Daten von Verkehrsdetektion, Verkehrereignissen und Parkraumbelagungen auf. Die pwpTMPlatform ruft diese Daten in 1min-Intervallen vom SITRAFFIC Scala ab.

Gleichermaßen ruft die pwpTMPlatform die meteorologischen Daten der LH Erfurt, die Umweltdaten der TLUG sowie die ÖPNV-Daten des VMT ab. Alle Daten stehen in Echtzeit für das Verkehrs- und Umweltmonitoring zur Verfügung, werden aber auch dauerhaft für nachgelagerte Analysen archiviert. Für alle Daten erfolgt eine Qualitätssicherung im Live-Betrieb im Hinblick auf Verfügbarkeit, Vollständigkeit, Aktualität und Plausibilität. Unvollständige, nicht aktuelle und unplausible Datensätze werden von der Verarbeitung in Folgeprozessen ausgeschlossen.

In 5min-Intervallen überträgt die pwpTMPlatform die qualitätsgesicherten Daten von Verkehrsdetektion und Verkehrereignissen an OPTIMA. Hier erfolgt die quasi kontinuierliche Berechnung der Ver-

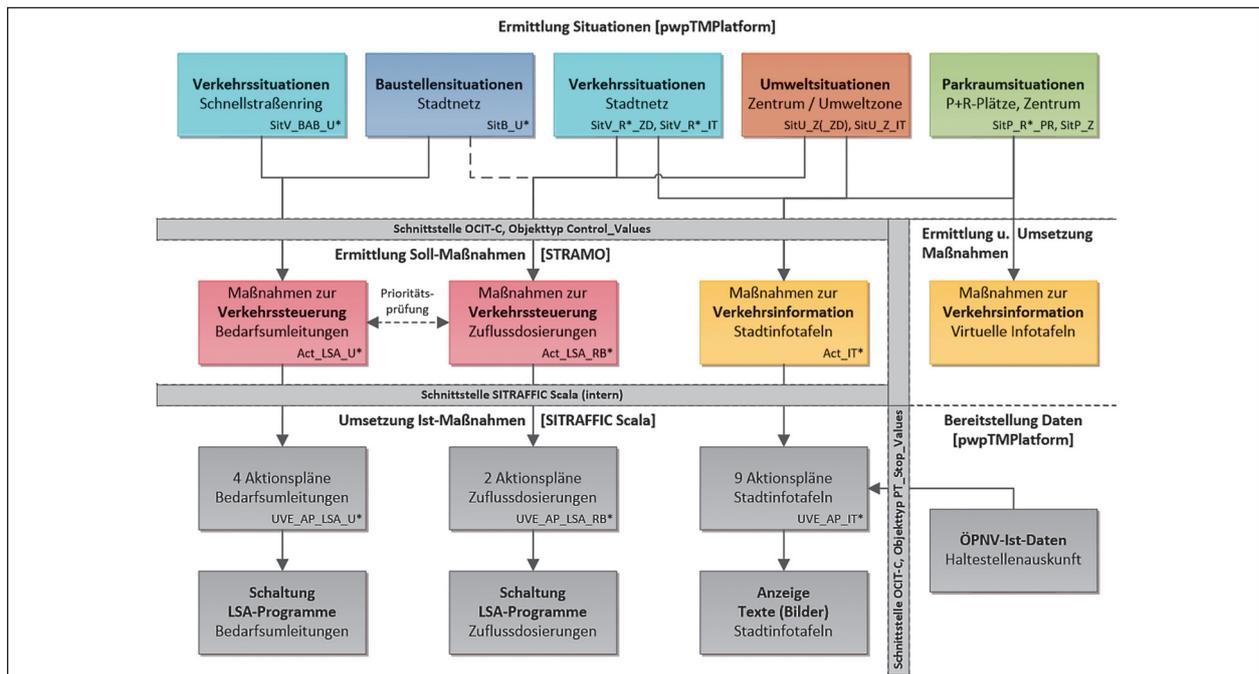


Bild 2-27: VMP Erfurt – Strategische Verkehrssteuerung (pwp)

kehrslage (Analyse und Kurzfristvorhersage). Im Rücklauf erfolgt der Abruf der Verkehrslagedaten durch die pwpTMPlattform.

Die Umsetzung der strategischen Verkehrssteuerung mit den Maßnahmenbereichen Parkraummanagement Innenstadt, Bedarfsumleitungen BAB A4/A71 und umweltorientiertes Verkehrsmanagement erfolgt im Zusammenspiel von pwpTMPlattform und SITRAFFIC Scala (vgl. Bild 2-27).

Grundlage zur Ermittlung der Maßnahmen zur Verkehrssteuerung (Bedarfsumleitung, Zuflussdosierung) und Verkehrsinformation (Informationstafeln) ist die kontinuierliche Ermittlung von Situationen. Es werden folgende Kategorien unterschieden:

- Verkehrssituationen - Verkehrsablauf im fließenden Verkehr,
- Baustellensituationen – Einschränkungen der Verfügbarkeit des Verkehrsnetzes,
- Parkraumsituationen – Parkraumbelegung im ruhenden Verkehr und
- Umweltsituationen - Luftschadstoffbelastung.

Die Ermittlung der Situationen erfolgt mit der pwpTMPlattform in 1min-Intervallen. Es werden jeweils 3 grundlegende Zustände unterschieden:

- normaler Zustand,
- gestörter Zustand,

- angespannte Verkehrssituation,
- verkehrsrelevante Baustelle,
- ausgelasteter Parkraum,
- erhöhte Umweltbelastung und
- undefinierter Zustand (bei fehlenden Eingangsdaten).

Die Verkehrs- und Baustellensituationen beziehen sich dabei auf Hauptstrecken des Verkehrsnetzes. Eine radiale Hauptverkehrsstraße ist hinsichtlich der Ermittlung der Verkehrssituationen bspw. in einen Abschnitt stromaufwärts und einen Abschnitt stromabwärts des Dosierungsquerschnittes geteilt. Die Parkraumsituationen beziehen sich auf konkrete Parkeinrichtungen bzw. Gruppen von Parkeinrichtungen. Die Parkhäuser der Innenstadt sind jeweils bspw. zu einer Gruppe zusammengefasst. Die Umweltsituationen beziehen sich auf die Standorte der Immissionsmessstellen. Die ermittelten Situationen werden in 1min-Intervallen an den Strategiemodul STRAMO des SITRAFFIC Scala übergeben.

STRAMO ermittelt nunmehr die zu einem bestimmten Zeitpunkt gemäß der hinterlegten Logik umzusetzenden Maßnahmen (als Soll-Maßnahmen bezeichnet) und übergibt diese an SITRAFFIC Scala. Hier werden über Aktionspläne die Maßnahmen zur Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation geschaltet (als Ist-Maßnahmen bezeichnet).

Die ermittelten Situationen, Soll- und Ist-Maßnahmen werden für das Monitoring und die Analyse der Verkehrssteuerung dauerhaft in der pwpTMPlatform vorgehalten.

Das Zusammenwirken der Module ist nachfolgend zusammengefasst:

- OPTIMA
  - Bereitstellung von Verkehrslagedaten zur Ermittlung der Verkehrssituationen
- pwpTMPlatform
  - Zusammenführung und Qualitätssicherung aller Eingangsparameter (Verkehrsdetektion, Verkehrslage, Verkehrsereignisse, Parkraumbelegungen, ÖPNV-Abfahrtszeiten, Umwelt- und Meteorologiedaten)
  - Analyse der Eingangsparameter und Ermittlung der Situationszustände (Verkehrs-, Baustellen-, Parkraum- und Umweltsituationen)
  - Übergabe der Situationszustände an SITRAFFIC Scala
- SITRAFFIC Scala
  - STRAMO: Ermittlung der umzusetzenden Verkehrsmanagementstrategie als Bündel von Maßnahmen an Lichtsignalanlagen und Stadtinformationstafeln
  - Versorgung der den Verkehrsmanagementstrategien zugeordneten Maßnahmen auf Ebene der verkehrstechnischen Feldelemente (Lichtsignalanlagen, Stadtinformationstafeln, Parkleitsystem)

#### 2.2.4 Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium

Auf Grundlage der kontinuierlichen Ermittlung der Situationen (Verkehr, Baustellen, Parkraum, Umwelt) werden die jeweils aktuell umsetzbaren Maßnahmen ermittelt (vgl. Kapitel 2.2.3). Es werden Maßnahmen zur Verkehrssteuerung an Lichtsignalanlagen und zur Verkehrsinformation an Infotafeln unterschieden.

Die Maßnahmen zur Verkehrssteuerung an Lichtsignalanlagen beinhalten Bedarfsumleitungen und Zuflussdosierung. Sie sind teilweise untereinander konkurrierend, so dass über eine Prüfung der Priorität zu einem bestimmten Zeitpunkt Maßnahmen

von der Umsetzung ausgeschlossen werden können.

Für die insgesamt 6 Bedarfsumleitungen BAB sind an den betroffenen LSA im Stadtgebiet separate Signalprogramme mit einer Umlaufzeit von 120 s (üblich im Tagesverkehr; sonst 90 s) und einer erhöhten Kapazität für die Verkehrsströme entlang der Umleitungsstrecken hinterlegt, die bei Anforderung durch die strategische Verkehrssteuerung über Aktionspläne am SITRAFFIC Scala aktiviert werden.

In der bislang realisierten zweiten Ausbaustufe sind die relevanten LSA von 2 der 11 radialen Hauptverkehrsstraßen separaten Signalprogrammen zur Zuflussdosierung ausgestattet. Es handelt sich um die Achse Leipziger Straße (oben beschrieben) und um die Achse Nordhäuser Straße. Die Signalprogramme sind jeweils an der LSA am Dosierungsquerschnitt sowie zur Freihaltung der Knoteninnenräume auch an LSA stromaufwärts versorgt. Die stromaufwärts der Dosierungsquerschnitte liegenden Streckenabschnitte sind mit separater Detektion zur Rückstauüberwachung ausgerüstet. Bei Anforderung durch die strategische Verkehrssteuerung wird die Zuflussdosierung über Aktionspläne am SITRAFFIC Scala aktiviert.

Die Maßnahmen Zuflussdosierung haben grundsätzlich eine niedrigere Priorität als die Maßnahmen Bedarfsumleitung.

Die Maßnahmen zur Verkehrsinformation adressieren jeweils einzelne Stadtinformationstafeln. Sie stehen weder untereinander noch mit o. g. Maßnahmen zur Verkehrssteuerung in Konkurrenz. Jeder Maßnahme ist ein Aktionsplan zugeordnet, d. h. den Maßnahmen zur Verkehrsinformation sind 9 Aktionspläne zugeordnet.

Die konkret angezeigten Texte sind abhängig von Verkehrs-, Parkraum- und Umweltsituation sowie der Verfügbarkeit von ÖPNV-Ist-Daten aus der VMT-Haltestellenauskunft. Sie werden je Infotafel in mehreren Bildern bzw. Bilderserien hinterlegt, die Anzeige wird über den jeweiligen Aktionsplan gesteuert.

Die Zuweisung der aus bestimmten Situationen resultierenden Anzeigetexte wird vorzugsweise fix bestimmten Zeilen zugeordnet. Eine erforderliche Auswahl wird über die Priorität vorgenommen, so dass gleichzeitig maximal 4 Zeilen belegt sind:

- Zeilen 1+2: Situationsbeschreibungen (Umwelt, Parken, Verkehr)
- Zeile 3: (bleibt zur besseren Erfassbarkeit frei)
- Zeilen 4+5: Handlungsempfehlungen (P+R, ÖPNV)



Bild 2-28: UVM Erfurt – Versorgung Infotafeln (Prinzipbeispiel) (pwp)

Das maßgebende Auslösekriterium für die umweltorientierte Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation ist der  $\text{NO}_2$ -Stundenmittelwert. Um häufige Wechsel zur Aktivierung bzw. Deaktivierung der Maßnahmen zu vermeiden, wurden für die Maßnahmen zur Verkehrssteuerung an LSA und zur Verkehrsinformation an Infotafeln untere und obere Schwellenwerte definiert:

- Verkehrssteuerung :  $\text{NO}_2 = 60..70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und
- Verkehrsinformation :  $\text{NO}_2 = 50..60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 2.3 Potsdam

### 2.3.1 Gebietsbeschreibung

Die brandenburgische Landeshauptstadt Potsdam mit rd. 170.000 Einwohnern grenzt direkt an den Südwesten Berlins und liegt somit innerhalb der Metropolregion Berlin/Brandenburg. Sie besitzt eine Fläche von ca. 190  $\text{km}^2$  und eine Einwohnerdichte von 891  $\text{EW}/\text{km}^2$ .

Sie ist im Westen und Süden durch den Berliner Autobahnring A 10 und im Osten durch die A 115

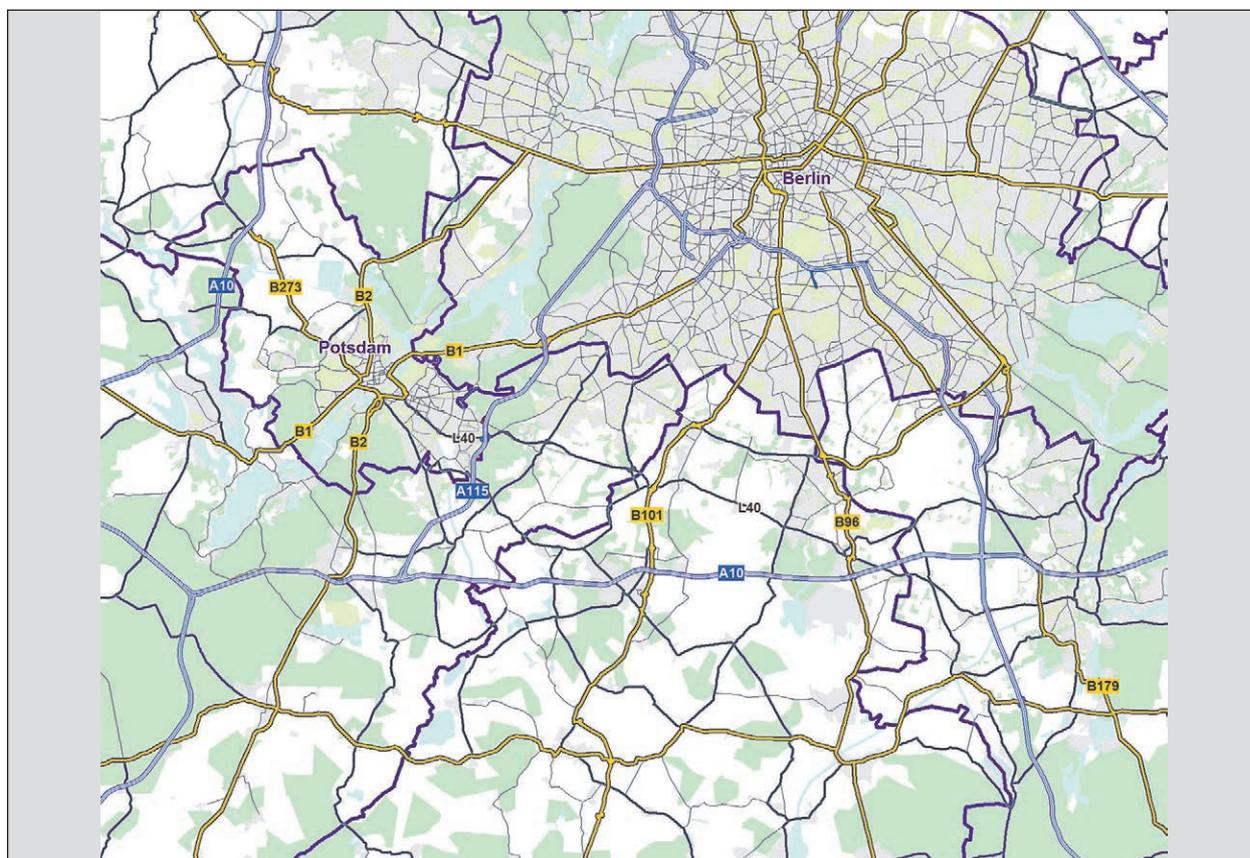


Bild 2-29: Lage und verkehrliche Anbindung des Untersuchungsgebiets in Potsdam (eigene Darstellung VMZ, Karte: © OpenStreetMap und Mitwirkende, BY-CC-SA)



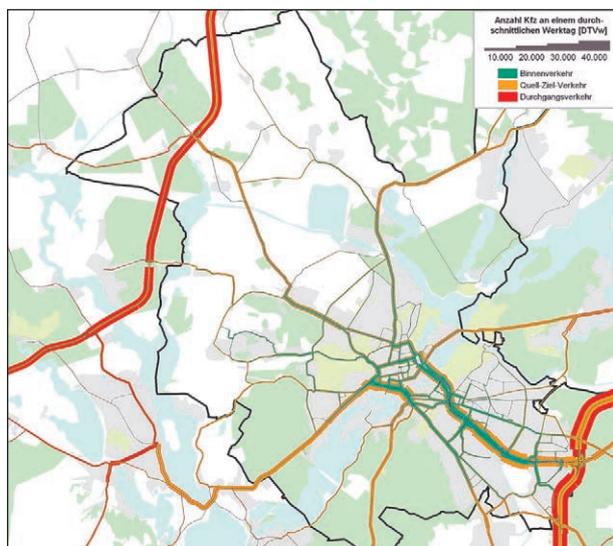


Bild 2-31: Anteile der räumlichen Verkehrsarten in Potsdam (eigene Darstellung VMZ, Karte: © OpenStreetMap und Mitwirkende, BY-CC-SA)

- Zeppelinstraße
  - 63,4 % (NO<sub>2</sub>)
  - 34,3 % (PM10)
- Großbeerenstraße
  - 56,6 % (NO<sub>2</sub>)
  - 23,2 % (PM10).

### Lärmsituation

Aufgrund der hohen Kfz-Belastungen und der Nähe der Straßenrandbebauung werden in allen Hotspot-Bereichen hohe Lärmimmissionswerte für den Gesamttag ( $L_{DEN}$ ) und den Nachtzeitraum ( $L_{Night}$ ) erreicht. Die Betroffenheitsanalyse im Rahmen der Lärmaktionsplanung<sup>13</sup> zeigt insbesondere für die Zeppelinstraße und die Großbeerenstraße hohe Lärmbetroffenheiten in den Nachtstunden ( $L_{Night} > 55$  dB(A)).

### Verkehrliche Situation

Im Folgenden wird die Verkehrsbelastung im Straßennetz an einem durchschnittlichen Werktag im Jahr 2010 dargestellt. Besonders hoch sind die Kfz-Belastungen auf den Potsdamer Radialstraßen, beispielsweise der Nutheschnellstraße und im Innenstadtbereich der Breite Straße, auf denen sich die Kfz-Verkehre bündeln.

Dabei ist festzustellen, dass neben dem städtischen Verkehr (Binnenverkehr) ein hoher Anteil Quell-Verkehr aus Berlin und den umliegenden Gemein-

Nr.	Straße	Kfz-Belastung (Kfz/24h, DTV)
1	Zeppelinstraße	27.500
2	Zeppelinstraße	26.100
3	Breite Straße	43.300
4	Breite Straße	45.700
5	Behlertstraße	20.800
6	Großbeerenstraße	11.900

Tab. 2-5: Kfz-Belastungen der kritischen Bereiche in Potsdam für 2010

den die wichtigen innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen belastet. Dagegen ist der Anteil des Durchgangsverkehrs in Potsdam sehr gering.

Auf den ausgewiesenen Hotspots sind unterschiedliche Kfz-Verkehrsstärken zu verzeichnen. Insgesamt ist die Verkehrssituation in der Stadt Potsdam wesentlich durch die beiden einzigen Brücken über die Havel (Lange Brücke, Humboldtbrücke) gekennzeichnet, die zu starken Konzentrationen des Verkehrs im Zu- und Ablauf führen.

Im Jahr 2010 lagen die Anteile Stop+Go für die Breite Straße und Behlertstraße zwischen 6,5 % und 7,8 % (jeweils Maximalwert der ausgewerteten Quartale des Jahres 2010). Für die Zeppelinstraße und Großbeerenstraße waren keine Daten verfügbar. Der durchschnittliche Lkw-Anteil betrug 3,5 %.

### 2.3.3 Beschreibung des UVM-Systems

Wesentliche Voraussetzung für ein umweltorientiertes Verkehrsmanagement ist die Schaffung eines technischen Systems, das es ermöglicht, in Abhängigkeit von der aktuellen Immissionsbelastung in den Hotspots definierte Steuerstrategien zu schalten und darüber Einfluss auf die Verkehrsmenge und die Verkehrssituation zu nehmen.

Sowohl die Verkehrsdaten als auch die Umweltdaten bilden die Grundlage für die Schaltung von umweltorientierten Steuerstrategien durch die VSMZ Potsdam. Mit der daraus resultierenden Dosierung der Verkehrsmenge und der Verstetigung des Verkehrsflusses verändern sich die Eingangsdaten der Immissionsbelastung und letztendlich der Aktivierung bzw. Aufhebung der Steuer- und Informationsstrategien.

### Verkehrsmodul

In der Landeshauptstadt Potsdam muss unter Verkehrsmodul das gesamte Verkehrs- und Informationsmanagementsystem gefasst werden. Darin sind alle Prozesse der Datenerfassung, Datenaufberei-

<sup>13</sup> [https://www.potsdam.de/sites/default/files/documents/2016-04-19\\_potsdamlap\\_1\\_oeff.pdf](https://www.potsdam.de/sites/default/files/documents/2016-04-19_potsdamlap_1_oeff.pdf)

tung, Datenübertragung sowie der operativen Steuerung und Information zusammengeführt.

Die aktuellen Verkehrsdaten werden über Verkehrsmessstellen erhoben. Zusätzlich zu den automatischen Verkehrsmessstellen im Hauptverkehrsstraßennetz wurden alle Hotspots der Luftschadstoffbelastung mit Traffic Eye Universal (TEUs) ausgerüstet. Mittels dieser Infrarotmessstellen werden die Verkehrsstärke, getrennt nach Pkw und Lkw, sowie die lokale Geschwindigkeit erfasst.

Im Verkehrssteuerrechner der VSMZ Potsdam (Si-Traffic Concert) werden die Rohdaten zu Halbstundenwerten aggregiert, der aktuelle Verkehrszustand bestimmt und über eine Schnittstelle dem Umweltmodul zur Verfügung gestellt. Die Grundlage für die Ableitung des Verkehrszustands bildet das Fundamentaldiagramm des Verkehrs, welches den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Ge-

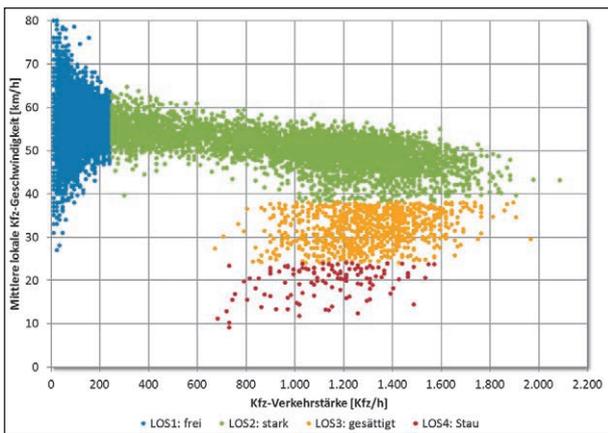


Bild 2-32: Fundamentaldiagramm zur Bestimmung des Verkehrszustands nach HBEFA (Verkehrsqualität im 3. Quartal 2012, Behlerstraße (beide Fahrstreifen) Mo-Fr); (eigene Darstellung VMZ)

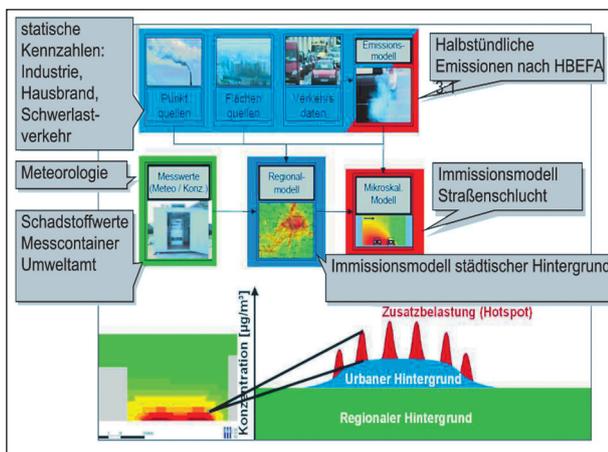


Bild 2-33: Funktionsweise des Umweltmodells IMMISmt (eigene Darstellung IVU)

windigkeit darstellt (siehe Bild 2-32). Dabei erfolgt die Bestimmung des Verkehrszustands nicht nach verkehrlichen Aspekten, sondern nach umweltrelevanten Aspekten entsprechend HBEFA.

Untrennbarer Bestandteil des Gesamtsystems ist das Steuerungs- und Informationsmanagement. Hier gilt es, die vorbereiteten Steuerungsstrategien automatisiert auszulösen bzw. aufzuheben sowie die Verkehrsteilnehmer über die Situation in der Stadt und die eingeleiteten Maßnahmen zu informieren.

Als Voraussetzung für automatisiertes Handeln wurden Aktionspläne aufgestellt und im System hinterlegt.

**Umweltmodul**

Für die Analyse der verkehrlichen Wirkungen auf die Luftschadstoffbelastung wird das Monitoringssystem IMMIS<sup>mt</sup> eingesetzt. Eine allgemeine Beschreibung zu IMMIS<sup>mt</sup> findet sich in Kapitel 2.1.3.

In Potsdam wird das System von der Stadt selbst betrieben. Die Datenversorgung erfolgt

- für die Verkehrsdaten über SCALA aus dem Verkehrsmodul,
- für die Luftmessdaten und meteorologischen Daten aus Datenbereitstellung durch das LfU Brandenburg und
- für meteorologische Daten vom Flughafen Berlin Tegel oder Berlin/Brandenburg Schönefeld über eine Schnittstelle zu METAR.

Die Daten zum Verkehrsgeschehen werden aus den aufbereiteten Daten der VSMZ übernommen. Die Funktionsweise des Umweltmodells ist in Bild 2-33 dargestellt.

Die erforderlichen dynamischen Grunddaten für die Modellierung der Luftschadstoffbelastung werden dem Umweltmodul über den Verkehrsrechner zur Verfügung gestellt. Alle statischen Grunddaten zu Infrastruktur und Bebauung sind Bestandteil des Umweltmoduls.

**Zusammenspiel der Module**

Wie bereits dargestellt, sind die einzelnen Module in einem Gesamtsystem zusammengefasst und in den operativen Betrieb der Verkehrssteuerung und Information der Landeshauptstadt Potsdam integriert.

Bild 2-34 zeigt den Datenfluss der umweltorientierten Verkehrssteuerung in Potsdam. Sie zeigt im

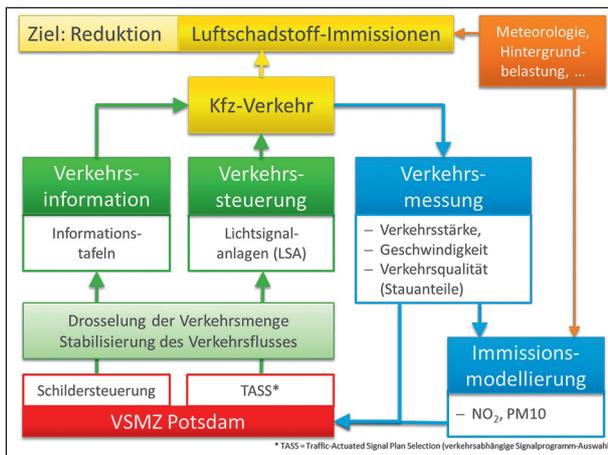


Bild 2-34: Datenfluss der umweltorientierten Verkehrssteuerung Potsdam (eigene Darstellung VMZ)

Das Gesamtsystem ist seit April 2012 in Betrieb. Die Bild 2-35 zeigt insbesondere die Integration des Umweltmoduls in das Verkehrsmanagementsystem der Stadt Potsdam sowie die Umsetzung der Strategien in der Verkehrssteuerung (LSA) und Information (dynamische Informationstafeln, Internet).

### 2.3.4 Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium

Je nach Überschreitung von Schwellenwerten der lokal gemessenen Verkehrsbelastung (LOS Dichter Verkehr, Stau) und/oder Luftschadstoffbelastung ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub>), die in dem Untersuchungsgebiet mit dem Monitoringsystem IMMIS<sup>mt</sup> berechnet wird, werden folgende Strategien aktiviert:

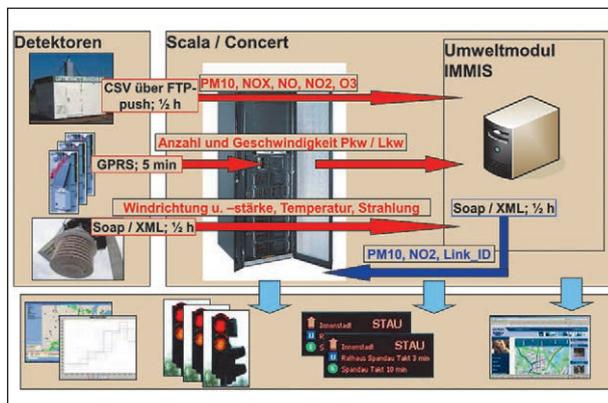


Bild 2-35: Integration des Umweltmoduls in die VSMZ Potsdam (Stadtverwaltung Potsdam)

### Strategien

- Verflüssigung des Verkehrs durch kapazitätsabhängige Schaltung von „Grünen Wellen“,
- zeitlich verkehrs- und umweltabhängige Zuflussdosierung des Kfz-Verkehrs an der Lichtsignalanlage (LSA) am Beginn der Hotspot-Bereiche,
- Information der Verkehrsteilnehmer über erhöhte Belastungen und veränderte Verkehrssteuerung durch Informationstafeln und
- modale Verlagerung des Kfz-Verkehrs auf den ÖPNV durch Verkehrsinformationen und Bereitstellung von P+R-Möglichkeiten im Bereich Zepelinstraße.

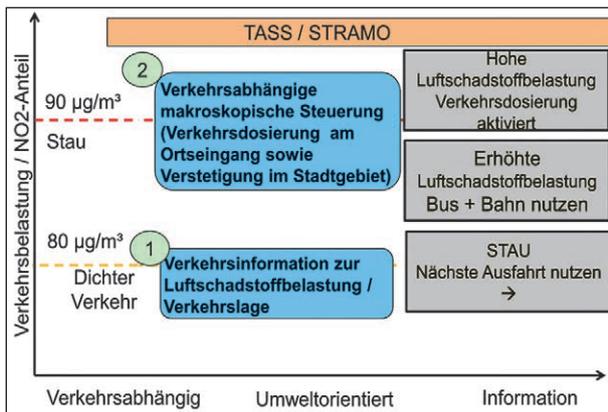


Bild 2-36: Schwellenwerte und Maßnahmen der umweltorientierten Verkehrssteuerung und -information in Potsdam (Stadtverwaltung Potsdam)

rechten Bereich die mittels der errichteten Detektion erfassten Verkehrsdaten zu Verkehrsmenge, Geschwindigkeit und Verkehrsqualität (Stauanteile). Unter Beachtung der Meteorologie und der Hintergrundbelastung wird daraus die Immissionsbelastung für NO<sub>2</sub> und PM10 modellgestützt berechnet.

Die Auslösekriterien und die daraus resultierenden LSA-Schaltungen und Informationen sind in Bild 2-36 dargestellt.

Der Auslöseschwellenwert für die UVS-Schaltung, sowohl der Informationstafeln als auch der Lichtsignalanlagen, wurde auf einer 30-Minuten-Basis durch die VSMZ Potsdam festgelegt, da dies die Rechenbasis der UVS ist.

## 2.4 Lutherstadt Wittenberg

### 2.4.1 Gebietsbeschreibung

Die Lutherstadt Wittenberg ist laut MLU Sachsen-Anhalt (2014) mit ca. 49.000 Einwohnern und einer Fläche von 240 km<sup>2</sup> ein Mittelzentrum mit Teilfunktionen eines Oberzentrums im östlichen Teil Sachsen-Anhalts. Mit einer Einwohnerdichte von 204 EW/km<sup>2</sup> zählt die Lutherstadt Wittenberg eher zu den dünn besiedelten Gebieten. Durch die seit



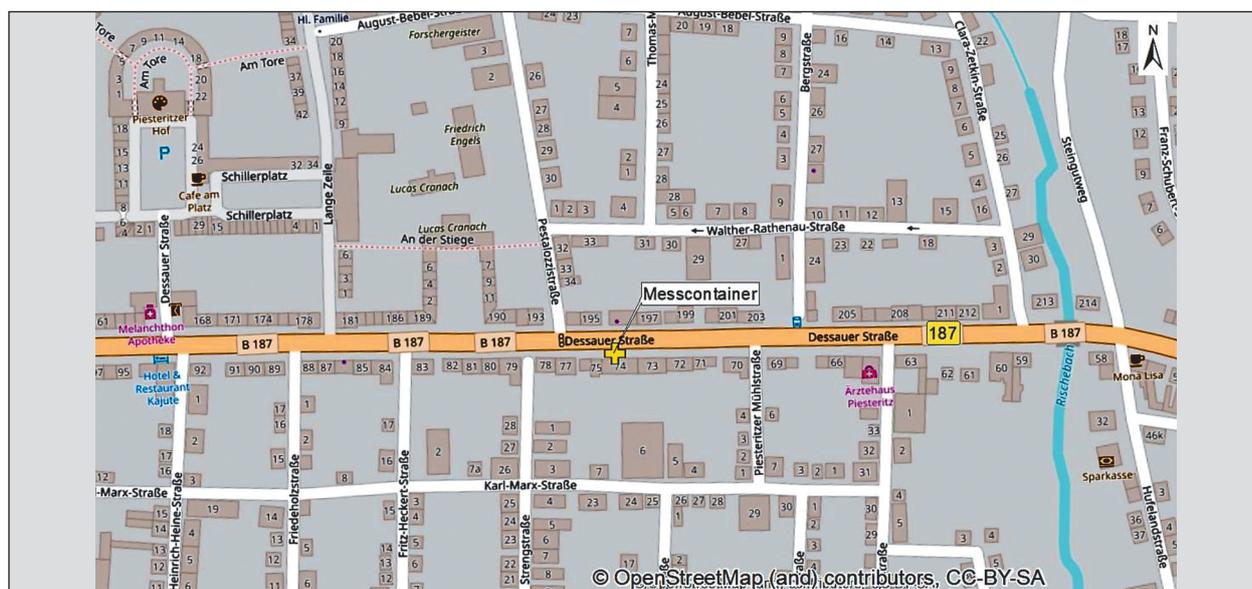


Bild 2-39: Luftbild des Bereiches Dessauer Straße zwischen Krummer Weg und Clara-Zetkin-Straße (eigene Darstellung Loh, Kartengrundlage auf Basis von © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
PM10-JM für Bahnstraße	22	22	20	18	21	18
PM10-JM für Dessauer Str.	31	29	24	23	26	23
Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten > 50µg/m <sup>3</sup> für Bahnstraße	19	25	5	6	15	7
Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten > 50µg/m <sup>3</sup> für Dessauer Str.	43	48	18	15	27	16
NO <sub>2</sub> -JM für Bahnstraße	13	12	12	12	12	12
NO <sub>2</sub> -JM für Dessauer Str.	36	35	35	32	31	32

Konzentrationen in µg/m<sup>3</sup>  
 Graue Felder = Grenzwertüberschreitung.  
 Hinweis: Die dargestellten Messergebnisse beinhalten bereits die Wirkung des UVM, welches seit 2007 aktiv ist.

Tab. 2-6: Überschreitungszahlen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes und des PM10-Jahresmittelwertes (JM) sowie NO<sub>2</sub>-JM-Werte der Jahre 2010 bis 2015 an den Messstationen in der Lutherstadt Wittenberg.

belastung an der Dessauer Straße lag in diesem Zeitraum bei ca. 65 %.

Laut MLU Sachsen-Anhalt (2014) beträgt die Länge des von PM10-Grenzwertüberschreitungen bedrohten Straßenabschnittes der Dessauer Straße zwischen Krummer Weg und Clara-Zetkin-Straße ca. 710 m, in dem 296 Anwohner gemeldet sind.

## Lärmsituation

Dieser Bereich der Dessauer Straße ist auch ein Schwerpunkt bzgl. der Lärmbelastung. Laut Wittenberg (2014) liegen der Nachtpegel bei 64 dB(A) sowie der Tagpegel bei 72 dB(A).

## Verkehrliche Situation

Die Bild 2-40 zeigt das Straßennetz für das Gebiet Wittenberg. Das durchschnittlich tägliche Verkehrsaufkommen liegt im Straßenzug Dessauer Straße von Mo-Fr bei ca. 14.000 bis 18.000 Kfz.

Der Durchgangsverkehr hat einen Anteil von 13 % am Gesamtverkehrsaufkommen. Der Schwerverkehrsanteil beträgt 7,7 %.

### 2.4.3 Beschreibung des UVM-Systems

Die Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt hat gemeinsam mit der Landeshauptstadt Magdeburg und der Stadt Halle (Saale) in den Jahren 2011/2012 das Verkehrslagesystem Sachsen-Anhalt aufgebaut. Die Bild 2-41 zeigt eine schematische Darstellung des Systemaufbaus.

Im Jahr 2016 wurde das Verkehrslagesystem hinsichtlich der eingesetzten Software modernisiert. Es besteht aus folgenden Teilsystemen:

- pwpTMPlatform – Verkehrs- und Umweltdatenmanagement und
- OPTIMA – Verkehrslageanalyse und -vorhersage.

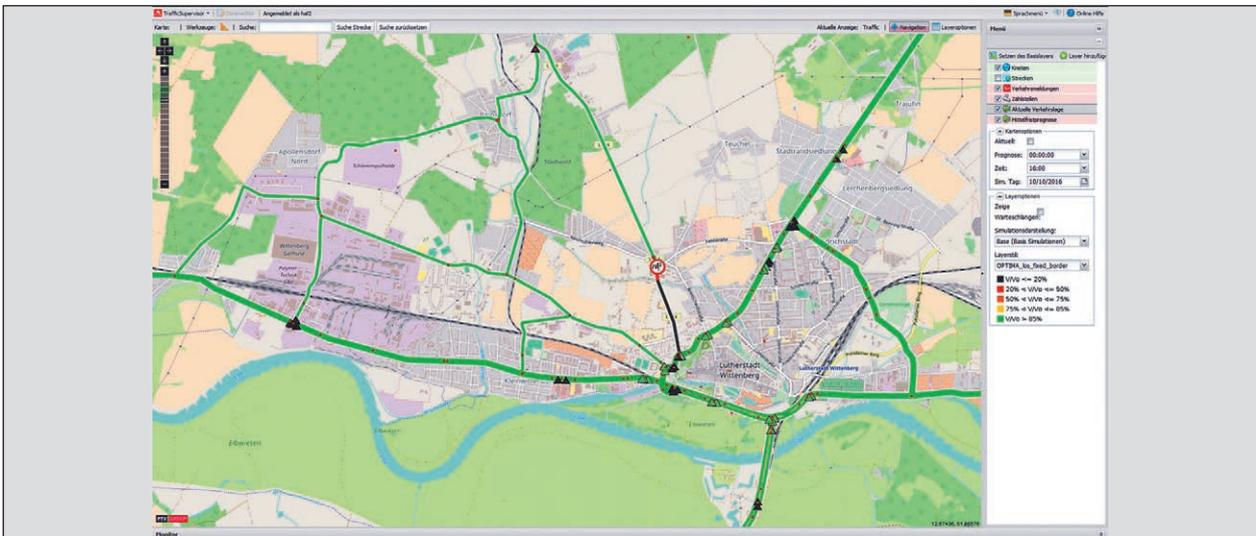


Bild 2-40: VL Sachsen-Anhalt – Ausschnitt Wittenberg (PTV, 2016)

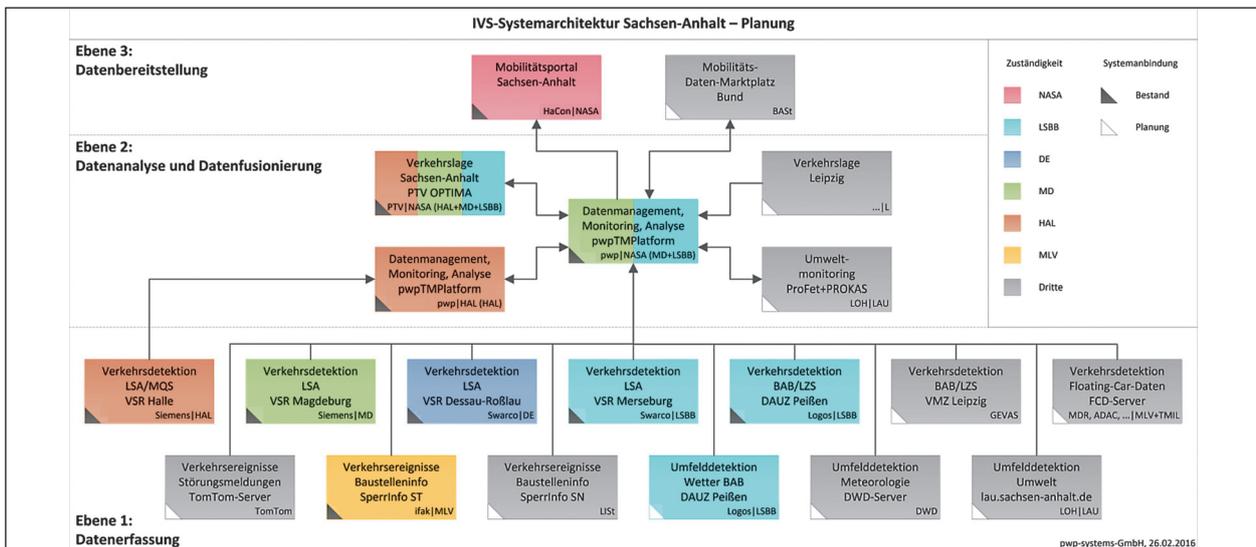


Bild 2-41: VL Sachsen-Anhalt – Systemaufbau (pwp, 2016)

Unter dem Begriff Verkehrsmodul wird nachfolgend das Verkehrslagesystem mit den beiden Teilsystemen verstanden.

**Verkehrsmodul**

Für eine allgemeine Beschreibung der Teilsysteme pwpTMPlattform und OPTIMA siehe Kapitel 2.2.3.

Bild 2-42 zeigt die pwpTMPlattform Sachsen-Anhalt im Arbeitsbereich Monitoring mit den eingebundenen Datenquellen: Verkehrsdetektion (Detektoren, Zählstellen) aus den Verkehrsrechnern Halle, Magdeburg, Dessau-Roßlau und Merseburg sowie der Datenunterzentrale Halle-Peißen sowie Verkehrereignisse aus dem Baustelleninformationssystem des Landes Sachsen-Anhalt. Die pwpTMPlattform Sachsen-Anhalt umfasst mit ihrem Datenbestand u. a. die komplette Detektion auf den Bundesauto-

bahnen in Sachsen-Anhalt, sämtliche Langzeitzählstellen, den größten Teil der Detektion an Lichtsignalanlagen sowie die strategische Detektion in der Stadt Halle – insgesamt derzeit über 5.000 Detektoren, die in 1-min-Intervallen Daten liefern.

Mithilfe von OPTIMA wird in 5min-Intervallen u. a. unter Berücksichtigung der Verkehrsdetektion und der Verkehrereignisse die komplette Verkehrslage des Landes Sachsen-Anhalt mit Analyse, Kurz- und Mittelfristvorhersage berechnet.

**Umweltmodul**

Im Landesamt für Umweltschutz (LAU) wird seit dem Jahr 2007 das Umweltmodul PROFET/PROKAS<sup>online</sup> für Sachsen-Anhalt betrieben. Eine Übersicht zeigt die Bild 2-43.

Es werden dort in einem Programmsystem die Umweltmodule ProFet (statistisches Verfahren) und PROKAS<sup>online</sup> (Emissions- und Ausbreitungsmodell) betrieben. Im Folgenden werden beide Umweltmodule kurz beschrieben:

Die Vorhersagemodelle in ProFet basieren auf statistischen Auswertungen umfangreicher Messreihen (Konzentrationen und meteorologische Daten). Dabei zeigen die PM10-Konzentrationen eine deutliche Abhängigkeit von meteorologischen Parametern, wie z. B. Temperatur, Niederschlag, Inversion und Windgeschwindigkeit, aber auch der Jahreszeit und dem Wochentag sowie der gemessenen Feinstaubkonzentration am Vortag und am frühen Morgen. Dementsprechend werden unter Verwendung

der zuvor erwähnten Parameter auf der Basis von Vorhersagen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und Messungen des Luftüberwachungssystems (LÜSA) die zu erwartenden PM10-Tagesmittelwerte vorhergesagt.

Der Vorhersageansatz stützt sich auf eine statistische Regressionsanalyse auf Basis der beschriebenen Eingangsdaten. Alternativ könnte als zweiter Vorhersageansatz die Festlegungen der regionalen Hintergrundbelastung über die Ergebnisse des europaweit arbeitenden PM10-Vorhersagemodells EURAD, das vom Rheinischen Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln betrieben wird, erfolgen. Dieser Vorhersageansatz kann optional zugeschaltet werden. Die EURAD-Daten würden dann automatisch durch einen im Vorhersagesystem eingebunden FTP-Client täglich aktualisiert.

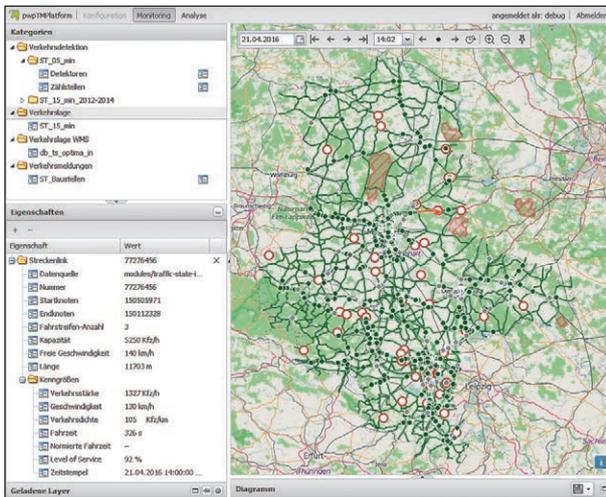


Bild 2-42: VL Sachsen-Anhalt – pwpTMPlatform (pwp, 2016)

Es werden folgende Vorhersagen erstellt (siehe dazu das Datenschema in Bild 2-44):

- Am heutigen Tag wird um 15 Uhr der PM10-Tagesmittelwert des nächsten Tages vorhergesagt (=Vortagesvorhersage).
- Am nächsten Morgen wird diese Vorhersage um 8 Uhr auf Basis aktueller Messdaten aktualisiert (=Tagesvorhersage).
- Weiterhin wird für die nächsten 5 Tage eine Trendvorhersage des zu erwartenden PM10-Tagesmittelwertes abgegeben (Beispiel siehe Bild 2-45).

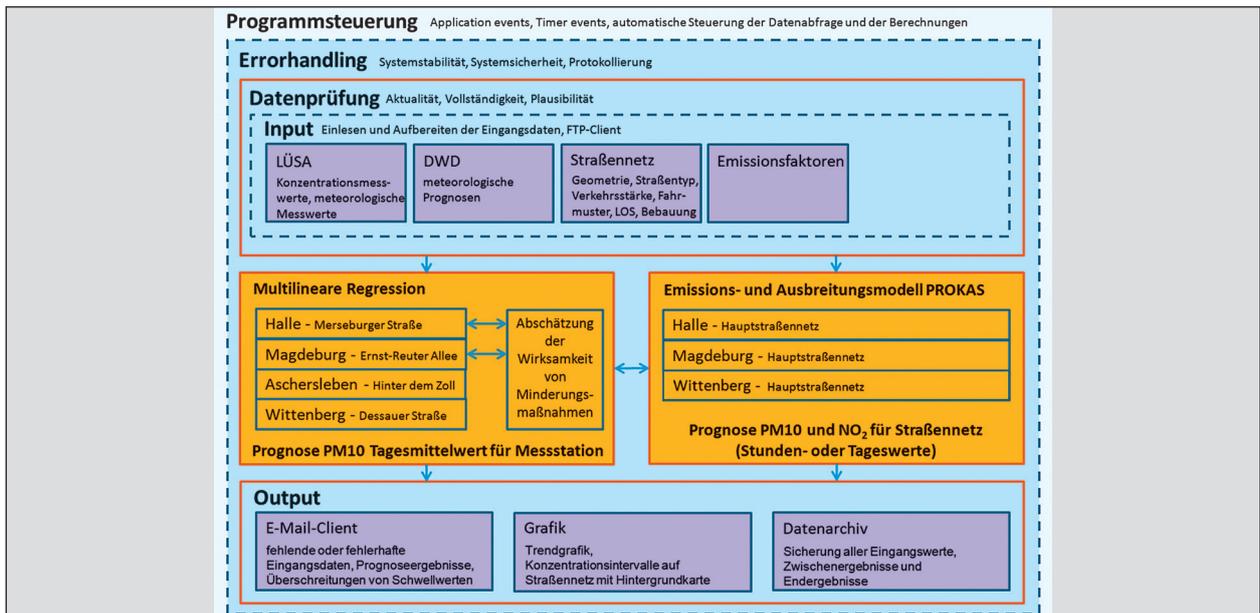


Bild 2-43: Übersicht über das Umweltmodul ProFet/PROKAS<sup>online</sup> für Sachsen-Anhalt

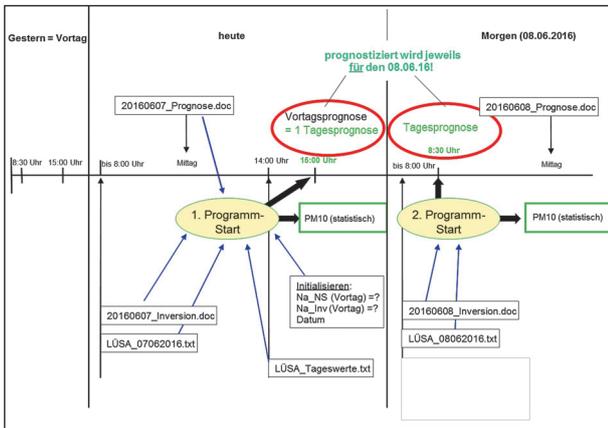


Bild 2-44: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Datenbereitstellungen und Vorhersagerechnungen in ProFet-Sachsen-Anhalt

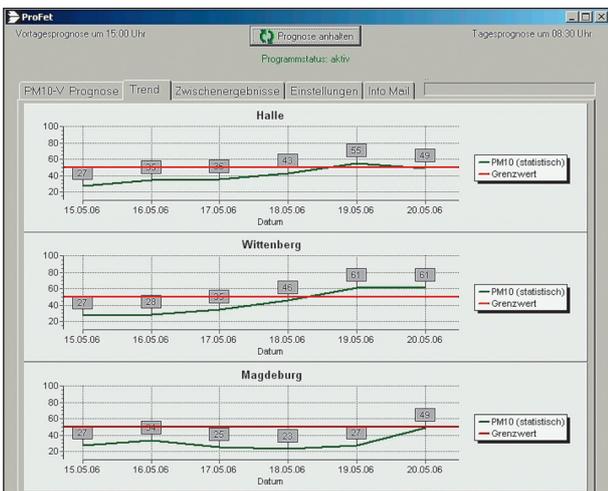


Bild 2-45: Ausgabebildschirm für die Trendvorhersage (PM10-Tagesmittelwerte) in ProFet. Konzentrationenwerte in µg/m³

Vorhersageergebnisse, Diagramme sowie vorgefertigte Benachrichtigungen werden über einen programminternen E-Mailverteiler versendet. Die Optionen, wann eine E-Mail (bei jeder Vorhersage oder nur bei Grenzwertüberschreitung) mit welchem Inhalt (Benachrichtigung, Vorhersagewerte, mit oder ohne Diagramm) versendet wird, werden für jeden Empfänger separat definiert. Somit werden ausgewählte Personen und Entscheidungsträger zeitnah und gezielt informiert.

In PROKAS<sup>online</sup> sind angepasste Versionen der Modelle PROKAS\_E (Emissionsmodell), PROKAS\_V (Gauß'sches Ausbreitungsmodell) und PROKAS\_B (Bebauungsmodul auf Basis MISKAM-Gebäudetypisierung) integriert. Dies bedeutet, dass sowohl die Einflüsse der umgebenden Straßen bzw. des gesamten umgebenden Straßennetzes als auch die Einflüsse der Bebauung berücksichtigt werden. Das Datenhandling läuft analog zu ProFet. Berechnet



Bild 2-46: Verkehrsbeschilderung auf der Coswiger Landstraße und der Dessauer Straße für die einseitige Lkw-Umleitung (MLU Sachsen-Anhalt, 2014)

werden hier die Tagesmittelwerte von NO<sub>2</sub> und PM10 im gesamten Straßennetz als Vortages- und Tagesvorhersage.

ProFet und PROKAS<sup>online</sup> arbeiten vollständig autonom nach einem definierten Zeitplan. So werden beispielsweise die Eingangsdaten eine halbe Stunde vor jeder Vorhersage auf ihre Aktualität und Vollständigkeit geprüft. Das Resultat der Fehlerprüfung kann dann ebenfalls automatisch an die entsprechenden Personen (E-Mailverteiler/SMS) versendet werden, womit die Möglichkeit besteht, gegebenenfalls auftretende Lücken in den Eingangsdaten zu schließen.

### Zusammenspiel der Module

Eine direkte automatische Kopplung zwischen Umweltmodul und Verkehrsmanagementsystem ist derzeit nicht gegeben.

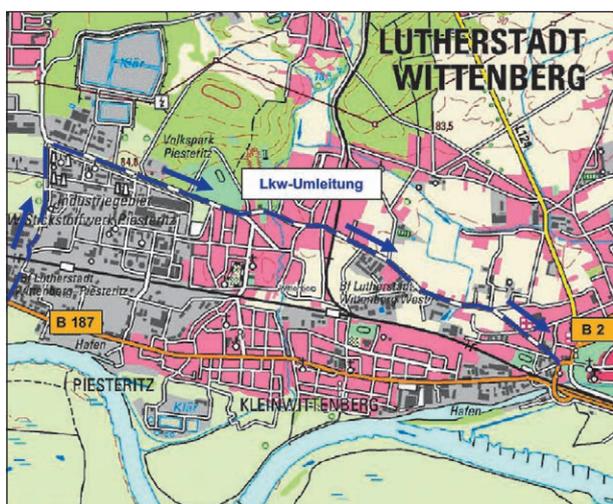


Bild 2-47: Streckenführung für die einseitige Lkw-Umleitung (MLU Sachsen-Anhalt, 2014)

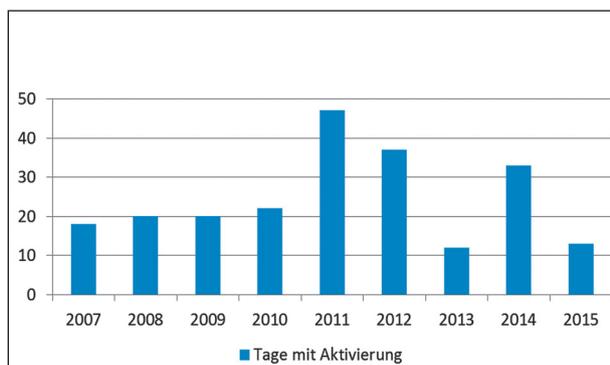


Bild 2-48: Tage mit Aktivierung der Lkw-Umfahrung in Wittenberg

Für die Aktivierung in Wittenberg werden deshalb manuell klappbare Verkehrsbeschilderungen verwendet. Diese sind beispielhaft in Bild 2-46 dargestellt.

Die Maßnahmenübersicht ist im Kapitel 2.4.4 und die Verfahrensweise im Kapitel 2.4.5 beschrieben.

#### 2.4.4 Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium

Wegen des zuvor aufgezeigten Eintritts bzw. der Gefahr von PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen beinhaltet der LRP/AP Wittenberg (Wittenberg, 2013) als Minderungsmaßnahmen u. a. eine verkehrslenkende Maßnahme (Lkw-Umleitung Dessauer Straße, Ableitung des Lkw-Verkehrs aus Richtung Westen in Fahrtrichtung Ost). Eine Übersicht zeigt Bild 2-47.

Zur Entlastung der Dessauer Straße wird dabei der Lkw-Verkehr (> 3,5 t) aus Richtung Westen (B187) in das nördliche Stadtzentrum und zur B 2 in Fahrt-

richtung Nord und Süd sowie zur B 187 in Fahrtrichtung Ost temporär abgeleitet. Ab- und Umleitungsstrecke ist aus Richtung Westen die Coswiger Landstraße – Heuweg – Möllendorfer Straße – Rothemarkstraße – Dobschützstraße – Hafenbrücke – zur B 187 / B 2 / Südumgehung.

Die Lkw-Umleitung wird aktiviert, wenn das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) der Lutherstadt Wittenberg und dem Landkreis Wittenberg eine bevorstehende Überschreitung des Tagesmittelwertes Partikel PM<sub>10</sub> von 50 µg/m<sup>3</sup> signalisiert. Die Maßnahme bleibt stets bis zur Deaktivierung durch das LAU aktiv.

Bild 2-48 fasst die Aktivierungsraten für den Zeitraum 2007 bis 2015 grafisch zusammen.

#### 2.4.5 Ablauf der manuellen Aktivierung/Deaktivierung der Maßnahme

Folgender Ablauf der Aktivierung ist entsprechend Wittenberg (2013, dort Anhang D), festgelegt:

Auslösekriterien für die Aktivierung seitens des LAU stellen in erster Linie die Ergebnisse des Feinstaubvorhersagemodells ProFet dar, vorbehaltlich einer fachlichen Verifizierung der Ergebnisse durch Mitarbeiter des Luftüberwachungs- und Informationssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA). Darüber hinaus kann eine Auslösung durch das LAU auch dann erfolgen, wenn aufgrund der fachlichen Einschätzung der Immissionssituation und der meteorologischen Bedingungen eine Überschreitung des Tagesmittelwertes wahrscheinlich ist.

Im Prozess der Maßnahmenauslösung sind in Abhängigkeit von der zweistufigen Arbeitsweise des Vorhersagemodells folgende Varianten vorgesehen:

- Aktivierung zwischen 15 und 16 Uhr des aktuellen Tages für den Folgetag,
- Aktivierung zwischen 9 und 10 Uhr des aktuellen Tages für den aktuellen Tag.

Eine Aktivierung erfolgt nur werktags. Die Maßnahme bleibt stets bis zur Deaktivierung durch das LAU aktiv. Einer Aktivierung folgt in jedem Fall auch eine Deaktivierung per E-Mail.

#### Fall A)

Im Falle einer für den Folgetag prognostizierten Überschreitung wird automatisiert eine E-Mail er-



Bild 2-49: Autobahnkreuz A2 und A9 im Großraum Graz (eigene Darstellung IVU, Kartengrundlage auf Basis von © OpenStreet-Map contributors CC-BY-SA)

zeugt und an den diensthabenden Mitarbeiter des LÜSA gesendet. Dieser überprüft das Vorhersageergebnis auf Plausibilität und leitet bei positivem Ergebnis die E-Mail über einen definierten Verteiler weiter. Hauptadressat und gleichzeitig verantwortlich für die Aktivierung der Maßnahme ist die Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt, speziell die Straßenmeisterei Wittenberg. Darüber hinaus geht diese E-Mail als Information u. a. an das MLU, den Landkreis Wittenberg und die Polizei Wittenberg sowie an das SKW Piesteritz.

Die Maßnahme vor Ort ist auf Grundlage dieser E-Mail sofort zu aktivieren und bis zur Deaktivierung durch das LAU aktiv zu halten. Ist die Maßnahme bereits aktiviert, so wird bei erneut signalisierter Grenzwertüberschreitung keine weitere E-Mail versendet, da dies aufgrund des recht großen Verteilers zu Irritationen führen könnte. Es gilt der Grundsatz, die Maßnahme bleibt bis zur Deaktivierung aktiv!

Die Aktivierung der Maßnahme wird durch den Leiter der Straßenmeisterei per E-Mail an das LÜSA bestätigt.

Ziel der sofortigen Aktivierung ist das rechtzeitige Wirksamwerden der Maßnahme vor dem Einsetzen der morgendlichen Verkehrsspitze.

#### Fall B)

Der Algorithmus zur Aktivierung ist identisch mit dem unter Fall A) beschriebenen Ablauf und es gelten die gleichen Grundsätze.

Ziel der Aktivierung ist das rechtzeitige Wirksamwerden der Maßnahme vor dem Einsetzen der Verkehrsspitze am Nachmittag.

Die Deaktivierung der Kurzfristmaßnahme wird durch das Versenden einer Standardmail unter Nutzung des gleichen Verteilers wie zur Aktivierung realisiert. Eine Deaktivierung erfolgt nur werktags unter Berücksichtigung der Vortagesvorhersage für den Folgetag. Auch die Deaktivierung der Maßnahme wird durch den Leiter der Straßenmeisterei per E-Mail an das LÜSA bestätigt.

## 2.5 Steiermark

Das Österreichische Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L, 2010) beinhaltet auf Autobahnen oder Schnellstraßen die Verfügung von temporären Geschwindigkeitsbeschränkungen „für die Dauer erhöhter Neigung zu Grenzwertüberschreitungen“. Dabei können flexible Systeme, wie immissionsabhängige Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA), verwendet werden. Realisiert wird dies durch den Einsatz dynamischer Verkehrszeichen, auf denen neben Tempolimits auch Stauwarnungen sowie Informationen zum Fahrbahnzustand angezeigt werden können. Die österreichische Autobahnfinanzierungsgesellschaft ASFINAG hat dazu ab dem Jahr 2008 u. a. die Projekte VBA Umwelt Steiermark und VBA Umwelt Tirol umgesetzt. Für die Untersuchungen im vorliegenden Projekt wurde das System in der Steiermark, im Großraum Graz ausgewertet.

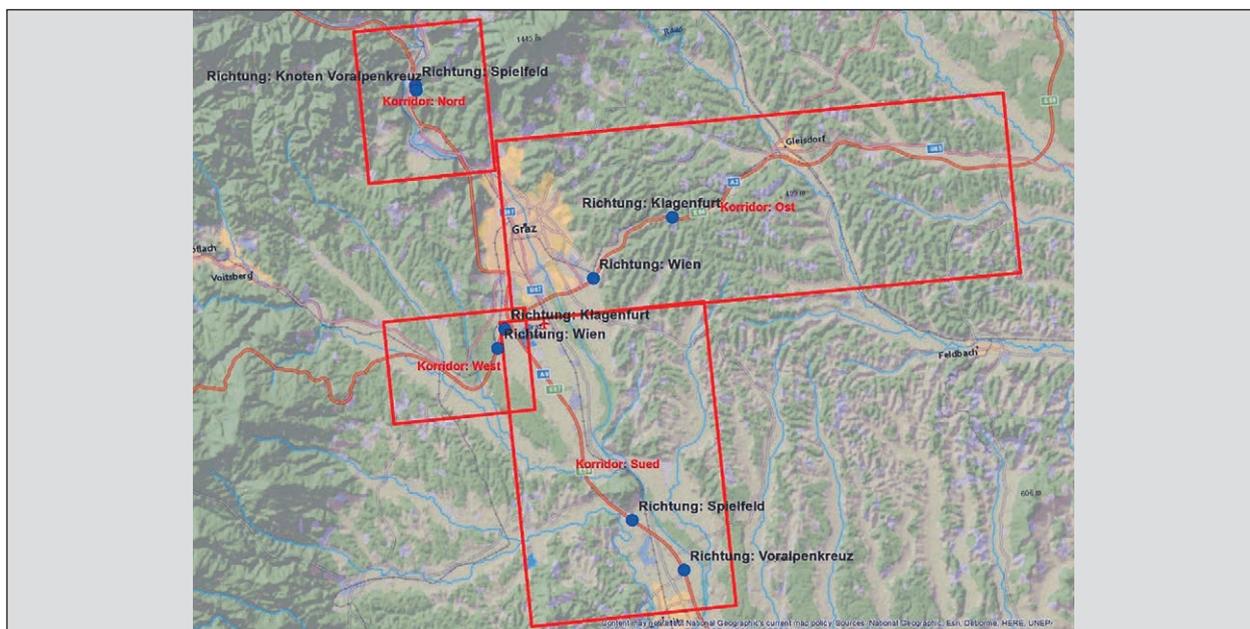


Bild 2-50: Darstellung der Teilkorridore und Messpunkte für die Verkehrserhebungen (eigene Darstellung IVU, Kartengrundlage auf Basis von © OpenStreetMap contributors CC-BY-SA)

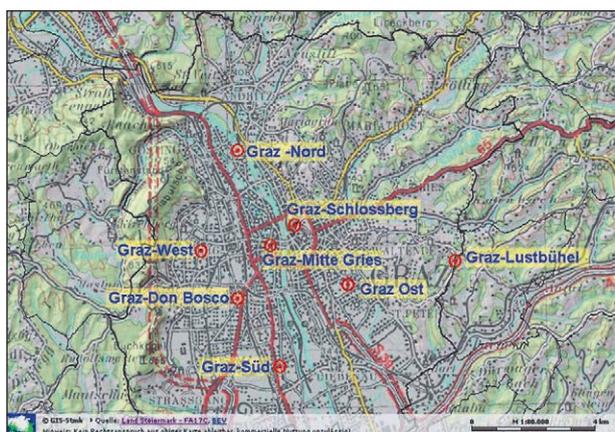


Bild 2-51: Lage der Messstationen im Ballungsraum Graz (Land Steiermark, 2015)

Im Großraum Graz (siehe Bild 2-49) wird seit Dezember 2008 eine VBA Umwelt mit vier getrennt geschalteten Teilkorridoren betrieben (siehe Bild 2-50). Diese liegen auf der A2 (Süd-Autobahn) und der A9 (Pyhrn-Autobahn).

### 2.5.1 Gebietsbeschreibung

Graz, die Landeshauptstadt der Steiermark, und ihr Ballungsraum ist mit 613.286 Einwohnern (Eurostat, 2016) (Stand 1.1.2015) nach Wien und Linz die drittgrößte Metropolregion Österreichs. Im Großraum Graz kreuzen sich zwei wichtige Verkehrsachsen, die A2 (Süd-Autobahn, Verbindung Wien – Italien) und die A9 (Pyhrn-Autobahn, Verbindung Knoten Voralpenkreuz – Slowenien), wie in Bild 2-49 zu se-

hen ist. Diese Autobahnen zeigen, entsprechend ihres Verbindungscharakters, die höchsten täglichen Verkehrsbelastungen im Großraum Graz (Land Steiermark, 2010). Die Emissionen des bei weitem größten Ballungsraumes der Steiermark, in Kombination mit einer topographisch bedingten ungünstigen Meteorologie, machen den Großraum Graz zu der am höchsten mit Luftschadstoffen belasteten Region der Steiermark (Land Steiermark, 2015). Auch im Österreichvergleich liegt der Großraum an einer Spitzenposition (UBA Österreich, 2016).

### 2.5.2 Beschreibung der Hotspots

#### Räumliche Lage

Lage und Charakterisierung der Luftmessstationen im Ballungsraum Graz zeigen Bild 2-51 und Tabelle 2-7 (Land Steiermark, 2015).

#### Luftschadstoffsituation

Die Jahresauswertungen der Messstationen für das Jahr 2014 im Ballungsraum Graz für  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  finden sich in Bild 2-52 sowie Tabelle 2-8 (Land Steiermark, 2015). Hierbei steht JMW für den Jahresmittelwert, MMW für den Monatsmittelwert, TMW für den Tagesmittelwert, 97,5 Perz für das 97,5-Perzentil basierend auf allen Halbstundenmittelwerten eines Jahres, MW3 für den gleitenden Dreistundenmittelwert und HMW für den Halbstundenmittelwert. In Tabelle 2-8 wird mit Ü eine Überschreitung gekennzeichnet.

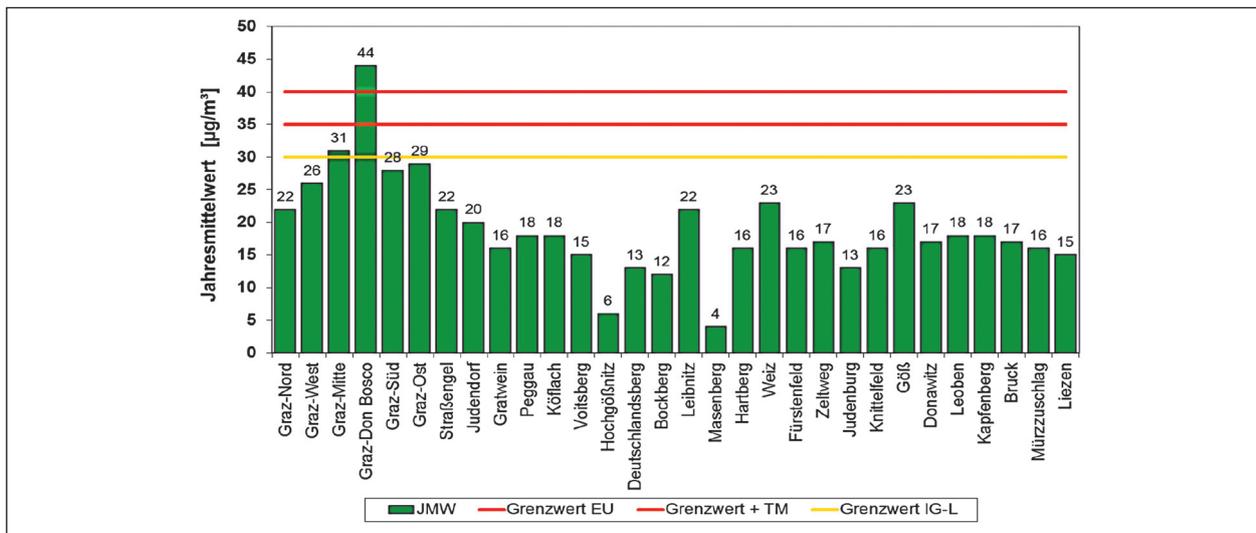


Bild 2-52: Jahresauswertung 2014 für NO<sub>2</sub> für den Ballungsraum Graz (Quelle: Land Steiermark, 2015)

Messstelle	Länge	Breite	Topographische Lage	Siedlungsstruktur
<b>Graz Stadt</b>				
Graz-Lustbühel	15° 29' 37,47"	47° 03' 59,75"	Stadtnahe Hügelkuppe	Umland einer Stadt mit 300.000 EW
Graz-Schloßberg	15° 26' 13,40"	47° 04' 32,20"	isolierte Einzelerhebung im zentralen Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, Stadtzentrum
Graz-Nord	15° 24' 53,54"	47° 05' 37,28"	Zentrales Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, städtischer Wohnhintergrund
Graz-West	15° 24' 13,42"	47° 04' 10,22"	Zentrales Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, zentraler Siedlungsbereich
Graz-Süd	15° 25' 59,08"	47° 02' 30,09"	Zentrales Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, zentraler Siedlungsbereich
Graz-Mitte Gries	15° 25' 53,55"	47° 04' 09,23"	Zentrales Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, Stadtzentrum
Graz-Ost	15° 27' 57,81"	47° 03' 34,44"	Zentrales Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, zentraler Siedlungsbereich
Graz-Don Bosco	15° 24' 59,54"	47° 03' 20,22"	Zentrales Grazer Becken	Stadt mit 300.000 EW, verkehrsnah

Tab. 2-7: Charakterisierung der Messstationen im Ballungsraum Graz (Land Steiermark, 2015)

Station	JMW	MMWmax	TMWmax J	97,5 Perz	Ü_JMW	Ü_TMW
<b>Graz Stadt</b>						
Graz-Lustbühel	16	27	78	46	0	5
Graz-Nord	18	32	85	---	0	6
Graz-West	25	34	80	68	0	19
Graz-Don Bosco	28	43	97	---	0	27
Graz-Süd	25	40	99	---	0	23
Graz-Ost	29	42	97	80	0	37
Graz-Mitte	22	36	89	60	0	9

Tab. 2-8: Jahresauswertung 2014 für Feinstaub (PM10) für den Ballungsraum Graz (Angaben in µg/m³; Land Steiermark, 2015)

Messtation	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte [µg/m³]				
	2010	2011	2012	2013	2014
Graz Don Bosco	51	51	47	48	44

Tab. 2-9: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2010-2014 an der Messstation Graz Don Bosco (UBA Österreich, 2016)

ren 2010 bis 2014 zeigt Tabelle 2-9 (UBA Österreich, 2016).

**Verkehrliche Situation**

Das Gebiet der VBA Umwelt Steiermark unterteilt sich in vier Teilkorridore, die in Tabelle 2-10 aufgeführt und in Bild 2-50 kartographisch dargestellt sind.

An den Zählquerschnitten der Teilkorridore werden die Verkehrsdaten für die Berechnung der Immissionsbeiträge ermittelt. Die Koordinaten der Verkehrszählstellen können der Verordnung IG-L Steiermark (2014) entnommen werden. Für den Be-

Die zeitliche Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an der Messstation Graz Don Bosco in den Jah-

Korridor	Autobahn	Fahrtrichtung	Abschnittsbereich	Bereich zwischen
Ost	A2 Süd Autobahn	Wien	Knoten Graz-West bis Anschlussstelle Sinabelkirchen	km 185,104 und km 149,340
		Klagenfurt	Anschlussstelle Sinabelkirchen bis Knoten Graz-West	km 150,895 und km 183,948
West	A2 Süd Autobahn	Wien	Anschlussstelle Lieboch bis Halbinschlussstelle Unterpremstätten/Knoten Graz-West	km 193,019 und km 186,867
		Klagenfurt	Halbinschlussstelle Unterpremstätten/Knoten Graz-West bis Anschlussstelle Lieboch	km 186,626 und km 194,637
Süd	A9 Pyhrn Autobahn	Spielfeld	Knoten Graz-West bis Anschlussstelle Leibnitz	km 190,205 und km 214,781
		Knoten Voralpenkreuz	Anschlussstelle Leibnitz bis Knoten Graz-West	km 213,804 und km 190,205
Nord	A9 Pyhrn Autobahn	Spielfeld	Knoten Peggau-Deutschfeistritz bis Gratkorn-tunnel 3	km 165,983 und km 172,308
		Knoten Voralpenkreuz	Gratkorn-tunnel 4 bis Knoten Peggau-Deutschfeistritz	km 172,188 und km 166,325

Tab. 2-10: Teilkorridore der VBA Umwelt Steiermark (FVT, 2013)

Korridor	Pkw/Tag	LNfz/Tag
Ost	38.000	5.600
West	39.000	3.700
Süd	23.000	2.500
Nord	26.500	3.000

Tab. 2-11: Verkehrsdaten der vier Korridore im Betriebszeitraum 2011/2012 (FVT, 2013)

etriebszeitraum 2011/2012 nennt die Evaluierung (FVT, 2013) für die vier Korridore die in Tabelle 2-11 zusammengestellten durchschnittlichen Zahlen pro Tag für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.

### 2.5.3 Beschreibung des UVM-Systems

#### Verkehrsmodul

Die aktuellen Verkehrsdaten werden, wie in Kapitel 2.5.2. beschrieben, für die vier Teilkorridore über Verkehrsmessstellen erhoben. Für die Berechnung der Immissionsbelastungen werden die Verkehrsdaten für das nächste Schaltintervall prognostiziert. Diese Prognosedaten werden, laut FVT (2013), von der ASFINAG anhand von dynamischen Ganglinien erstellt. Da für die Modellierung zusätzlich die Verkehrsbelastungen auf allen Straßenabschnitten im Berechnungsgebiet benötigt werden, stellt die ASFINAG hierfür die Ergebnisse eines Verkehrsmodells zur Verfügung.

Zu den Verkehrsdaten erläutert IG-L Steiermark (2014): „Da für die installierten Verkehrserfassungssysteme laut ASFINAG von einer sehr geringen Ausfallwahrscheinlichkeit ausgegangen werden kann, wird bei einem Datenausfall auf keine Ersatz-

zählung zurückgegriffen. Sind die aktuellen Verkehrsdaten älter als drei Stunden, wird ebenfalls der Algorithmus abgebrochen und kein Tempolimit angezeigt. Die Aktualität dieser Ganglinie wird täglich geprüft, ansonsten wird zur Berechnung der Verkehrsprognose auf statische Ganglinien zurückgegriffen.“

#### Umweltmodul

Die Funktion des Umweltmoduls der VBA Umwelt Steiermark wird in ASFINAG (2008) wie folgt beschrieben: „Die Schaltungen der VBA basieren einerseits auf den tatsächlichen Werten der Luftgüte-Messstellen in den IG-L-Sanierungsgebieten, andererseits auf den Verkehrsdaten im VBA-Streckennetz sowie speziellen Windmodellen. Ein von ASFINAG und TU Graz konzipierter Schalt-Algorithmus verarbeitet diese Daten. Das Ergebnis ist eine eventuelle Reduktion des Tempolimits auf 100 km/h. Damit ist garantiert, dass es wirklich nur dann zu einer Herabsenkung der erlaubten Geschwindigkeit kommt, wenn auch tatsächlich der Bedarf dafür besteht. Die Aktualisierung erfolgt halbstündlich. Mit der VBA ist aber auch garantiert, dass es nur bei lufthygienisch schlechten Ausbreitungsbedingungen zu einer Herabsenkung der erlaubten Geschwindigkeit kommt.“

#### Zusammenspiel der Module

Das Zusammenspiel der Module zeigt das Funktionsschema der VBA Umwelt in Bild 2-53. Das Rechenmodell wird am Beispiel Tirol in Bild 2-54 dargestellt.

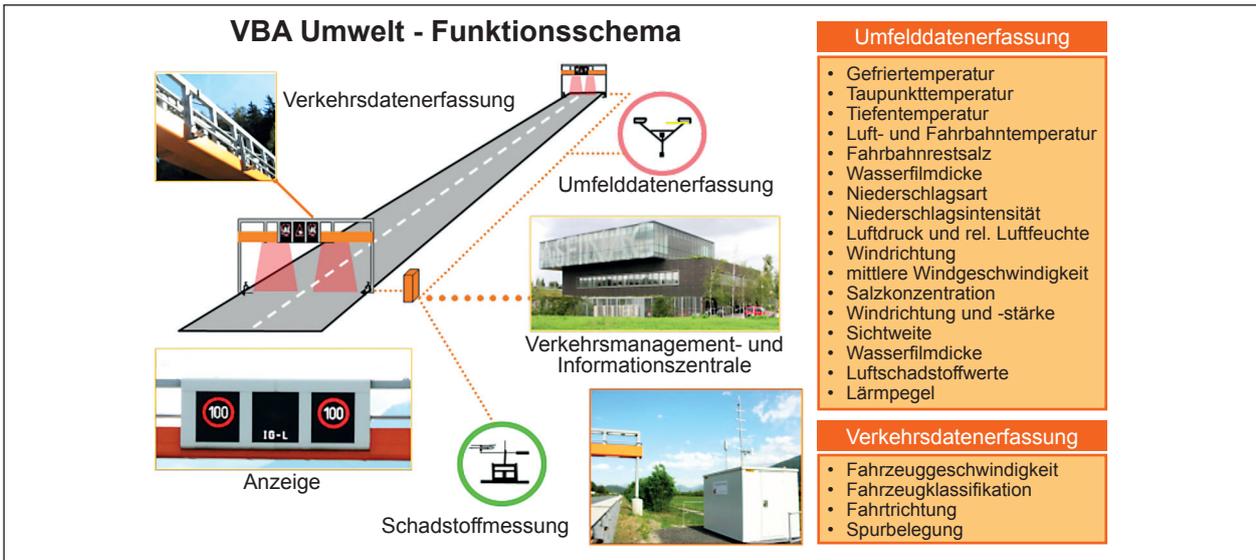


Bild 2-53: Funktionsschema VBA Umwelt (Land Tirol, 2008)

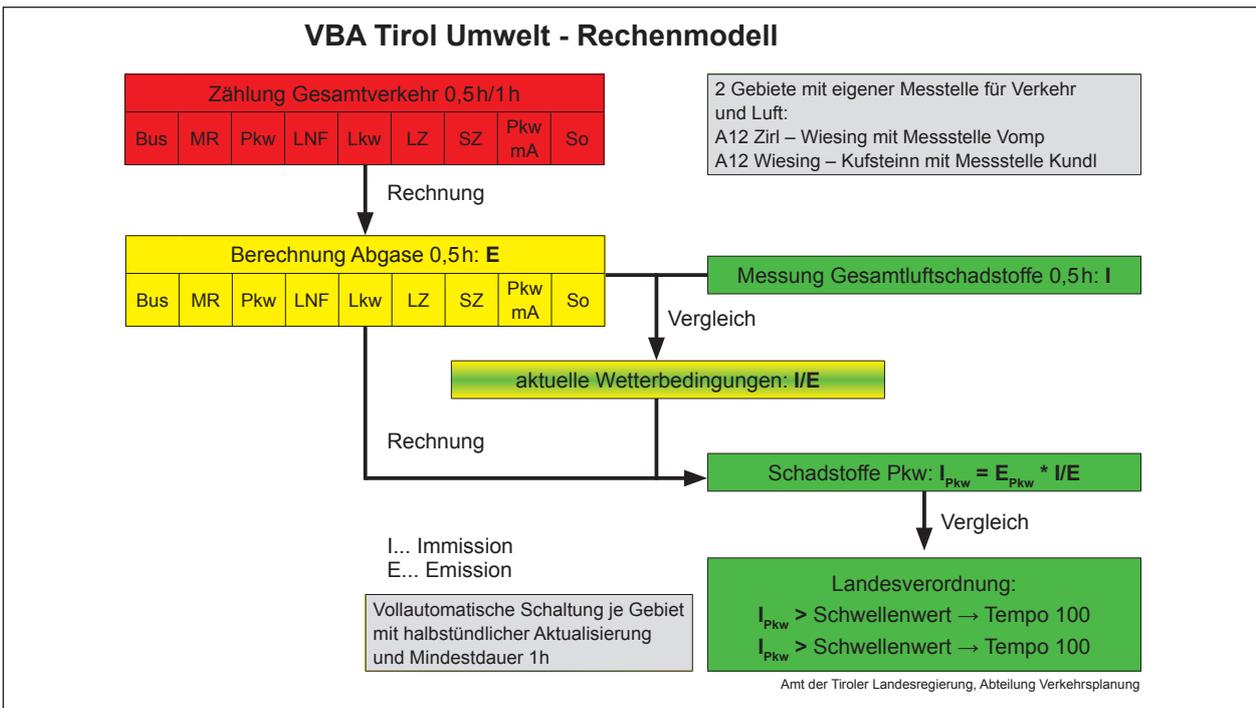


Bild 2-54: Rechenmodell VBA Umwelt (Land Tirol, 2008)

#### 2.5.4 Maßnahmenübersicht und Auslösekriterium

Auf Autobahnen in Österreich beträgt die Höchstgeschwindigkeit, wenn nicht durch Verkehrszeichen anders angezeigt, 130 km/h. Die Maßnahme der VBA Umwelt ist die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für einen Korridor auf 100 km/h, wenn

- der prognostizierte gleitende Dreistundenmittelwert für PM10 den Schwellenwert 1 für diesen Korridor erreicht oder überschreitet oder

- der Immissionsbeitrag den Schwellenwert 2 für diesen Korridor erreicht oder überschreitet.

Prognose, Messung und Vergleich mit dem Schwellenwert haben jede halbe Stunde zu erfolgen. Die Schwellenwerte zur Schaltung von Tempo 100 km/h sind in Tabelle 2-12 zusammengestellt. „Der Schwellenwert 1 bezieht sich auf die Vorbelastung mit PM10, er wurde von 40 µg/m³ auf 49 µg/m³ angehoben. Der Schwellenwert 2 begrenzt den Beitrag von Emissionen des Pkw-Verkehrs auf die Immissionsbelastung in autobahnnahen Siedlungsgebieten. Hier erfolgte die Umstellung von PM10 auf NO<sub>x</sub>. Der

		Schaltung auf Basis	
		PM <sub>10</sub> bis 29.10.2015	PM <sub>10</sub> und NO <sub>x</sub> (ab 30.10.2014)
Schwellenwert 1		40 µg/m <sup>3</sup> PM10	49 µg/m <sup>3</sup> PM10
Schwellenwert 3		25 µg/m <sup>3</sup> PM10	—
	Korridor		
Schwellenwert 2	Ost	2,8 µg/m <sup>3</sup> PM10	57,3 µg/m <sup>3</sup> PM10
Schwellenwert 2	Süd	2,4 µg/m <sup>3</sup> PM10	26,7 µg/m <sup>3</sup> PM10
Schwellenwert 2	West	1,5 µg/m <sup>3</sup> PM10	45,8 µg/m <sup>3</sup> PM10
Schwellenwert 2	Nord	1,7 µg/m <sup>3</sup> PM10	30,6 µg/m <sup>3</sup> PM10

Tab. 2-12: Schwellenwerte zur Schaltung von Tempo 100 (Land Steiermark, 2015)

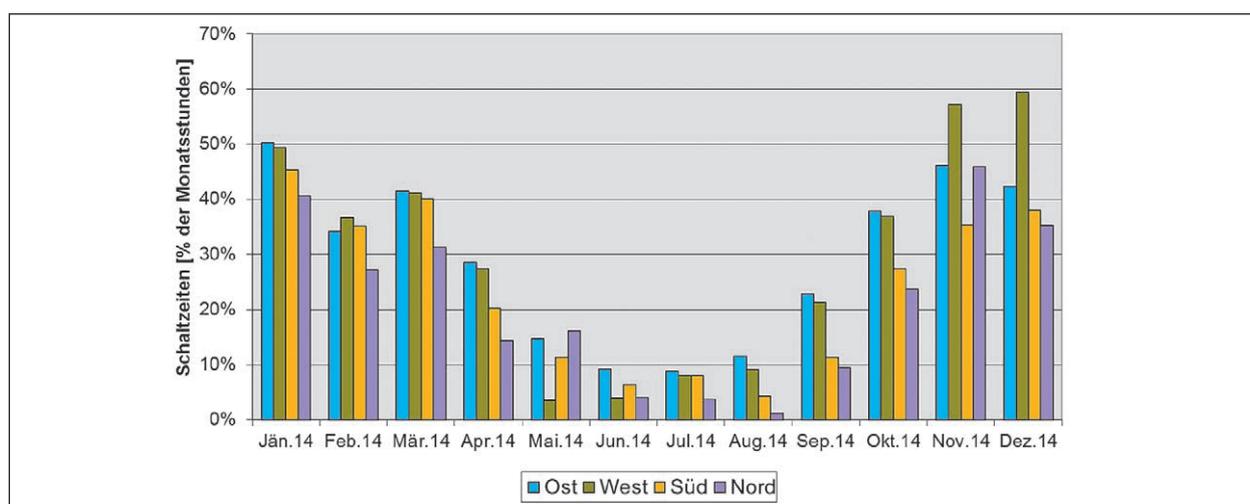


Bild 2-55: Schalthäufigkeiten 2014 (Land Steiermark, 2015)

Schwellenwert 3, der eine Schaltung bei niedriger PM10-Grundbelastung verhindert hat, wurde gestrichen.“ (Land Steiermark, 2015). Es wird hier zudem erläutert, dass durch die 2014 geänderte Schaltung zu erwarten sei „dass vor allem im Sommer höhere Schaltzeiten als bisher auftreten werden, da einerseits die Verkehrsbelastung im Sommer auf den Autobahnen höher ist, andererseits die Schaltung von Tempo 100 auch bei niedrigen PM10-Grundbelastungen erfolgt.“

Im Jahr 2014, in dem bis Ende Oktober noch der alte Schalthalgorithmus aktiv war, wurden, nach Land Steiermark (2015), die in Bild 2-55 dargestellten Schalthäufigkeiten aufgezeichnet.

Ziel der Maßnahme ist, nach IG-L Steiermark (2014), „die durch den Verkehr verursachte Immissionsbelastung durch die Luftschadstoffe PM10 (Feinstaub) und NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) zu verringern und durch eine Reduktion der Höchstgeschwindigkeit auf Teilabschnitten der A2 Süd-Autobahn sowie der A9 Pyhrn-Autobahn die Luftqualität zu verbessern.“

### 2.5.5 Ablauf der Aktivierung/Deaktivierung der Maßnahme

Die Geschwindigkeitsbeschränkung wird innerhalb eines Korridors aufgehoben, wenn die in Kapitel 2.5.4 genannten Voraussetzungen nicht mehr gegeben sind. Sowohl die Anordnung als auch die Aufhebung der Geschwindigkeitsbeschränkung darf frühestens eine halbe Stunde nach der letzten Schaltung erfolgen.

## 3 Rechtsrahmen

### 3.1 Grundlagen

Der Rechtsrahmen für ein UVM-System mit Eingriffen in den Straßenverkehr wird durch die EU-Gesetzgebung bestimmt, die über das Bundesimmissionschutzgesetz<sup>14</sup> in nationales Recht umgesetzt wurde. Die darauf aufbauende aktuelle 39. Bundes-

<sup>14</sup> Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionschutzgesetz BImSchG) (letzte Fassung v. 31.08.2015)

immissionsschutzverordnung<sup>15</sup> definiert die unmittelbare Umsetzung des BImSchG.

In der 39. BImSchV werden Messverfahren, Zielwerte, Immissionsgrenzwerte und Alarmschwellen sowie Emissionshöchstmengen u. a. für die wichtigsten Bestandteile von Schadstoffen des motorisierten Verkehrs erfasst. Relevant für die vorliegende Untersuchung sind dabei die § 3, 4, 5, in denen Immissionsgrenzwerte und Alarmschwellen für NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>, PM10 und PM2,5 festgelegt sind, § 23 (Einhaltung von langfristigem Ziel, nationalem Ziel und Zielwerten), § 28 (Pläne für kurzfristige Maßnahmen), die § 31 und 32 (Öffentlichkeitsarbeit) sowie § 35 (Programme der Bundesregierung).

Der Rechtsrahmen wird ergänzt durch die Straßengesetze des Bundes und der Länder sowie durch die Straßen-Verkehrs-Ordnung (StVO) und die Straßen-Verkehrs-Zulassungsordnung (StVZO), die die Nutzung von Straßeninfrastruktur sowie die Eigenschaften der für den Straßenverkehr zugelassenen Fahrzeuge regeln.

Schließlich gilt es, die Bundeshaushaltsordnung (§ 7 Abs. 2) und das Haushaltsgrundsätzegesetz<sup>16</sup> § 6 Abs. 2 zu beachten, wonach für alle finanzwirksamen Maßnahmen angemessene Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchzuführen sind. Dies gilt auch für die Investitionen in VM- und UVM-Systeme entsprechenden Umfangs. UVM-Maßnahmen müssen dabei - unter Berücksichtigung von Aufwand und Nutzen – „verhältnismäßig“ sein. Dazu muss der Begriff „Verhältnismäßigkeit“ eingegrenzt werden.

Nachfolgend wird zunächst aufgezeigt, wie sich die Aufgabe des Umweltschutzes nach und nach zu einer Kernaufgabe der EU entwickelt hat und wie sich daraus die gesetzlichen Vorschriften für die Mitgliedsländer der EU ableiten. Sodann wird die Frage diskutiert, wie der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz bei der Auswahl von UVM-Maßnahmen anzu-

wenden ist und wie die bisher umgesetzten UVM-Maßnahmen sowie weitere, derzeit in Diskussion befindliche Maßnahmen unter diesem Aspekt einzustufen sind.

Die Überlegungen führen zu einem Vorschlag für Bewertungsindikatoren als Grundlage der Bewertung der Systeme in den ausgewählten Untersuchungsgebieten.

## 3.2 Beurteilung der Luftschadstoff- und Lärmbelastungen

### 3.2.1 Historie

Für die Entwicklung einer eigenständigen EU-Umweltpolitik gilt die Pariser Gipfelkonferenz von 1972<sup>17</sup> als Meilenstein. 1973 wurde das erste Umweltaktionsprogramm (UAP) verabschiedet, das die Leitlinien zur Entwicklung einer gemeinschaftlichen Umweltpolitik fest schrieb. 1981 wurde eine neue Generaldirektion XI „Umwelt, nukleare Sicherheit und Katastrophenschutz“ geschaffen und damit der Umweltschutz als Aufgabe EU vorbereitet. Als offizielles Handlungsfeld wurde die Umweltpolitik jedoch erst 1987 mit primärrechtlichem Rang im EWG-Vertrag verankert. Weitere Stationen waren die Verträge von Maastricht (1993) und von Amsterdam (1999), die die Nachhaltigkeit zu einem vorrangigen Ziel der Union machten. Seit dem Vertrag von Lissabon (2009) gilt ein effizienteres Entscheidungsverfahren, wobei Rat und Parlament gemäß dem ordentlichen Gesetzgebungsverfahren über das Tätigwerden der EU entscheiden (Art. 192 AEUV).

Die Umweltpolitik der Union trägt zur Verfolgung der nachstehenden Ziele bei Art. 191 (ex-Artikel 174 EGV)<sup>18</sup>:

- A. Erhaltung und Schutz der Umwelt sowie Verbesserung ihrer Qualität;
- B. Schutz der menschlichen Gesundheit;
- C. umsichtige und rationelle Verwendung der natürlichen Ressourcen;
- D. Förderung von Maßnahmen auf internationaler Ebene zur Bewältigung regionaler oder globaler Umweltprobleme und insbesondere zur Bekämpfung des Klimawandels.

Die Europäische Union schreibt in der Umweltpolitik für die Mitgliedsländer verpflichtende Verordnungen

<sup>15</sup> Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung - 37. über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV), letzte Fassung v. 31.08.2015.) vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. Oktober 2016 (BGBl. I S. 2244) geändert worden ist.

<sup>16</sup> Bundeshaushaltsordnung (BHO) v. 3.12.2015 und Gesetz über die Grundsätze des Haushaltsrechts des Bundes und der Länder (Haushaltsgrundsätzegesetz - HGrG) v. 15. Juli 2013.

<sup>17</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Umweltpolitik\\_der\\_Europ%C3%A4ischen\\_Union](https://de.wikipedia.org/wiki/Umweltpolitik_der_Europ%C3%A4ischen_Union)

<sup>18</sup> <https://dejure.org/gesetze/AEUV/191.html>

(allgemeine Regelung mit unmittelbarer innerstaatlicher Geltung), und Richtlinien (allgemeine Regelung, die von den Mitgliedstaaten in staatliches Recht umzusetzen ist) u.a. zur Luftqualität und zu Lärmimmissionen vor und wirkt damit bis in die kommunale Ebene mit betroffenen Bürgerinnen und Bürgern ein.

### 3.2.2 Beurteilung der Luftqualität

Aktuelle Basis für die Beurteilung der Luftqualität zur Abwendung von Gesundheitsgefahren durch Stickstoffdioxid und Feinstaub ist die Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG, die mit Wirkung zum 11. Juni 2010 eingeführt worden ist.

Die notwendige Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht ist in Deutschland durch eine Anpassung des Bundesimmissionsschutzgesetzes und dem Erlass der 39. BImSchV erfolgt.

Die für die Bewertung straßenverkehrsbedingter Immissionen relevanten Grenzwerte der 39. BImSchV sind in Tabelle 3-1 angegeben.

Im Rahmen der Konkretisierung der Ziele für die Luftreinhaltung hat die 39. BImSchV die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität, die Auswahl der relevanten Gebiete, den Aufbau eines Messstellennetzes sowie die Messmethoden definiert. So werden Messstationen unter anderem an viel befahrenen Straßen (Hotspots) oder auch in Parks oder Wäldern (Hintergrundwerte) angeordnet.<sup>19</sup>

Die Mitgliedstaaten müssen die Luftqualität in ihren Ballungsräumen und in besonders definierten weiteren Gebieten überwachen. Zuständig für die Überwachung der Luftqualität in Deutschland sind die Bundesländer. Sie sind bei Überschreitung der definierten Grenzwerte für die Erstellung von Luftreinhalteplänen verantwortlich. Luftreinhaltepläne enthalten Maßnahmen, die ein Überschreiten von Grenzwerten verhindern sollen. Die Umsetzung geeigneter Maßnahmen ist Aufgabe der Kommunen. Sofern es sich um Maßnahmen im Straßenverkehr handelt, ist das Einvernehmen mit den zuständigen Straßenbau- und Straßenverkehrsbehörden erforderlich (§ 47 Abs. 4 BImSchG). Die Öffentlichkeit ist

Stoff	Mittelungszeit	Grenzwert	Geltungszeitpunkt
NO <sub>2</sub>	Stundenmittelwert	200 µg/m <sup>3</sup> maximal 18 Überschreitungen/Jahr	seit 2010
NO <sub>2</sub>	Jahresmittelwert	40 µg/m <sup>3</sup>	seit 2010
Partikel (PM10)	Tagesmittelwert	50 µg/m <sup>3</sup> maximal 35 Überschreitungen/Jahr	seit 2005
Partikel (PM10)	Jahresmittelwert	40 µg/m <sup>3</sup>	seit 2005
Partikel (PM2,5)	Jahresmittelwert	25 µg/m <sup>3</sup>	seit 2015

Tab. 3-1: Grenzwerte der 39. BImSchV

bei der Aufstellung der Pläne zu beteiligen (§ 47 Abs. 5 BImSchG).

Auf der Grundlage dieser bundesgesetzlichen Regelungen wird die Luftqualität in Ballungsgebieten durchgängig durch Messung oder Modellrechnung überwacht. Wird dabei festgestellt, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Immissionsgrenzwerte überschritten werden, müssen diese Überschreitungen mit allen erforderlichen Daten über die obersten Landes- und Bundesfachbehörden der EU-Kommission mitgeteilt werden. Diese Mitteilung muss spätestens im Jahr nach Feststellung der Überschreitungen abgegeben werden.<sup>20</sup>

Im darauffolgenden Jahr muss der Kommission über die ergriffenen Maßnahmen zur Verringerung der Luftbelastung berichtet werden (§ 31 der 39. BImSchV i. V. m. Kap. V der Richtlinie 2008/50/EG). Innerhalb dieses Zeitfensters muss die zuständige Behörde ihrer gesetzlichen Verpflichtung nachkommen und einen Luftreinhalteplan (LRP) aufstellen, der die erforderlichen Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Luftverunreinigungen festlegt (§ 47 Abs. 1 BImSchG).

Gegenstand eines solchen Luftreinhalteplans ist im Wesentlichen (siehe Anlage 13 zur 39. BImSchV):

- die Beschreibung der Überschreitungssituation,
- die Verursacheralyse,
- die Betrachtung der voraussichtlichen Entwicklung der Belastungssituation und
- die Bestimmung von Maßnahmen.

### 3.2.3 Beurteilung der Lärmbelastung

Die Richtlinie über Umgebungslärm trägt dazu bei, die Lärmpegel in der EU zu ermitteln und die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um diese Pe-

<sup>19</sup> KOHOUTEK, S.: Quantifizierung der Wirkungen des Straßenverkehrs auf Partikel- und Stickoxid-Immissionen, Dissertation 2010, Darmstadt.

<sup>20</sup> Das „Notifizierungsverfahren“ regelt die Voraussetzungen für die Gewährung möglicher Fristverlängerungen bei Nichteinhaltung der Grenzwerte von PM10 und NO<sub>2</sub>.

gel auf ein hinnehmbares Maß zu senken. Für Lärm aus spezifischen Quellen gelten gesonderte Rechtsvorschriften<sup>21</sup>.

Umgebungslärm: Die Rahmenrichtlinie über Umgebungslärm (die gegenwärtig einem Eignungstest unterzogen wird) zielt darauf ab, die Belastung durch Umgebungslärm zu verringern, indem Lärmindizes und Bewertungsmethoden harmonisiert, Informationen über Lärmbelastung anhand sogenannter Lärmkarten ermittelt und diese Informationen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Auf dieser Grundlage sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, Aktionspläne auszuarbeiten, um gegen die Lärmprobleme vorzugehen. Lärmkarten und Aktionspläne müssen mindestens alle fünf Jahre überarbeitet werden.

Auch die Lärmemissionen aus Kfz unterliegen einer zunehmenden Verschärfung. Mit der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 wurden Grenzwerte für den zulässigen Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen festgelegt und ein neues Prüfverfahren für die Messung von Geräuschemissionen, die Senkung der derzeit geltenden Geräuschgrenzwerte und die Aufnahme zusätzlicher Bestimmungen über Geräuschemissionen in das Typgenehmigungsverfahren eingeführt.

Die Umgebungslärmrichtlinie ging mit einer Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) in deutsches Recht über. Der sechste Teil des BImSchG „Lärminderungsplanung“ umfasst nun die Paragraphen 47a bis 47f und beinhaltet – neben Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen – Aussagen zu Zuständigkeiten, Zeiträumen und Anforderungen an Lärmkarten und Lärmaktionspläne<sup>22</sup>. Dabei gelten im Gegensatz zur Luftqualität, mit verbindlichen Grenzwerten, nur die folgenden Zielwerte:

- Zur Vermeidung gesundheitlicher Risiken sollten 65 dB(A) tags beziehungsweise 55 dB(A) nachts nicht überschritten werden (Minimalziel).
- Zur Vermeidung erheblicher Belästigungen sollten die Belastungen auf 55 dB(A) tags beziehungsweise 45 dB(A) nachts gesenkt werden (Mittleres Ziel).

<sup>21</sup> Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.

<sup>22</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/umgebungslaermrichtlinie/laermaktionsplanung>

- Langfristig sollten Werte von 50 dB(A) tags beziehungsweise 40 dB(A) nachts angestrebt werden (Optimaler Schutz).

Wenngleich dieses Ziel besonders in Innenstädten auch langfristig kaum zu erreichen ist, so sind die Zielwerte als Schadensschwelle bedeutsam, zum Beispiel für Kosten-Nutzen-Bewertungen oder Entschädigungsregelungen.

Lärmquellen können bei gleichem Pegel unterschiedlich beeinträchtigen. Im Nationalen Verkehrslärmschutzpaket II formuliert das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung relative Minderungsziele, die bis zum Jahr 2020 gegenüber 2008 erreicht werden sollen:

- zehn dB(A) für Schienenverkehrslärm,
- fünf dB(A) für Straßenverkehrslärm und
- drei dB(A) für Fluglärm.

### 3.2.4 Kommentar

Die gesetzlichen Vorgaben zur Einhaltung der Grenzwerte für PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub> bedeuten hinsichtlich der Verkehrsorganisation erhebliche Anstrengungen auf kommunaler Ebene, da dies allein durch die Entwicklung der Fahrzeugemissionen nicht möglich war.

Auch hat es die Fahrzeugindustrie nicht geschafft, die Minderung der Fahrzeugemissionen im Realbetrieb in dem Maße zu realisieren, wie bei Festlegung der Immissionsgrenzwerte prognostiziert.

Insbesondere in Ballungsräumen mit hohen Verkehrs- und Bebauungsdichten stellt die Grenzwerteinhaltung durch verkehrsplanerische Maßnahmen eine sehr große Herausforderung dar. Es gibt zwar eine Vielzahl von Maßnahmen mit nachgewiesenen Minderungspotenzialen, die politische Umsetzbarkeit in Abwägung zwischen Gesundheitsschutz und Sicherstellung der Mobilität stellt aber das eigentliche Kernproblem dar.

Das im Verkehrswesen Neue dieser historischen Entwicklung ist, dass die EU-Vorgaben zu Grenzwerten direkt Gesetzeskraft haben und in allen Mitgliedsländern innerhalb der vorgesehenen Fristen einzuhalten sind.

In anderen Feldern der Mobilitätsplanung wie z. B. Verkehrsablauf, Leistungsfähigkeit von Verkehrsanlagen oder Erreichbarkeit von Zielen basieren die

Planungsansätze auf technischen Regelwerken. Die Einhaltung von Grenzwerten wird dort zwar angestrebt, die Grenzwerte selbst sind aber nicht verbindlich. So sind beispielsweise raumordnungspolitische Normen zur Erreichbarkeit von Einrichtungen der Daseinsvorsorge zwar gesetzlich fundiert, ihre Konkretisierung wird jedoch Regelwerken ohne gesetzliche Bindung überlassen<sup>23</sup>. Verkehrsteilnehmer, die aufgrund von Staus regelmäßig verspätet an ihr Ziel kommen, können gegen derartige Missstände nicht klagen, es gibt für Mobilität keine gesetzlichen Vorgaben mit Rechtsanspruch.

Anders stellt sich die Situation im Bereich von Luftqualität und Lärmimmissionen dar. Jeder Bürger / jede Bürgerin kann sich auf die Grenzwerte der EU bzw. 39. BImSchV berufen und deren Einhaltung einklagen.

### 3.3 Zur Konformität von Maßnahmen mit dem Gesetzesrahmen

#### 3.3.1 Verhältnismäßigkeitsgrundsatz bei Maßnahmen des UVM

„Der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz ist ein (ungeschriebener) Teil des Rechtsstaatsprinzips. .... Bei dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz geht es darum, dass die staatliche Gewalt gegenüber den Bürgern schonend und nur bei wirklicher Dringlichkeit angewandt werden soll“<sup>24</sup>.

Die Rechtsgrundlage und Daseinsberechtigung des Verhältnismäßigkeitsgrundsatzes ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen den Freiheitsrechten eines jeden Einzelnen und der Einbindung der betroffenen Person in die Gesellschaft. So ist der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz ein Mittel der Abwägung.

Die Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen des UVM umfasst folgende Punkte: die Maßnahme muss

1. einem legitimen Zweck dienen,
2. sie muss geeignet sein,
3. sie muss erforderlich sein und
4. sie muss angemessen sein<sup>25</sup>.

<sup>23</sup> FGSV, RIN

<sup>24</sup> <http://www.juraindividuell.de/pruefungsschemata/der-verhaeltnismaessigkeitsgrundsatz/>, abgerufen am 2.12.2016

<sup>25</sup> <https://dejure.org/gesetze/AEUUV/191.html>, abgerufen am 3.8.2018

Die Maßnahme ist dann geeignet, wenn der damit verfolgte Zweck erreicht werden kann. Wenn die Erfüllung des Zwecks mit der Maßnahme objektiv unmöglich oder nur unzureichend möglich ist, ist die Maßnahme ungeeignet.

Erforderlich ist die Maßnahme, wenn es keine weniger eingreifende Maßnahme gibt, die denselben Erfolg mit gleicher Sicherheit erzielt.

Die Maßnahme ist angemessen, wenn der beabsichtigte Zweck, Grenzwerte einzuhalten, nicht außer Verhältnis zu der Schwere des Eingriffs steht. Dieser Aspekt wird häufig auch als „Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne“ bezeichnet. Er beschäftigt sich mit der Zumutbarkeit der gewählten Maßnahme. Hier muss also die Abwägung zwischen den betroffenen Rechtsgütern erfolgen.

Bei der Abwägung der beiden Rechtsgüter ist zu beachten, dass der zu erreichende Zweck mindestens so bedeutsam sein muss wie das Rechtsgut, in welches eingegriffen werden soll. In diese Abwägung sind grundsätzlich alle vorhandenen Rechtspositionen und Wertentscheidungen einzubeziehen, die die Maßnahme und das dadurch eingeschränkte Rechtsgut betreffen.

Somit ist die Wichtigkeit der Rechtsgüter zu bestimmen und anschließend ist die Intensität der Gefährdung des zu schützenden Rechtsgutes gegen die Schwere der Beeinträchtigung des Rechtsgutes, in welches eingegriffen werden soll, abzuwägen. Gute Anhaltspunkte für die Darstellung der Schwere der Beeinträchtigung sind die Dauer, das Ausmaß und die Häufigkeit der Maßnahme.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich, dass jede UVM-Maßnahme einzeln auf Angemessenheit zu prüfen ist. Dabei stehen die Schutzgüter „Gesundheit der Bevölkerung“ dem Rechtsgut der „Freiheit des Einzelnen“ im Hinblick auf seine Mobilität gegenüber. Die Rechtsprechung hat aber keine weitere Konkretisierung vorgenommen. Es ist also unklar, ab wann die Beeinträchtigung der individuellen Mobilität durch Maßnahmen des UVM z. B. in Form von Reisezeit-Erhöhungen als unzumutbar angesehen werden muss oder wieviel Personen betroffen sein müssen, um eine Unzumutbarkeit festzustellen.

Technische Regelwerke können in dieser Diskussion eine Hilfe sein. Im Folgenden soll für im Rahmen von UVM realisierte oder in Diskussion befindliche Maßnahmen der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz auf der Prozessebene konkretisiert werden.

### 3.3.2 Konkretisierung des gesetzlichen Rahmens

#### Legitimität der Maßnahme

Das Bundesimmissionsschutzgesetz in Verbindung mit der 39. BImSchV bestimmt, dass bei Überschreitung von Immissionsgrenzwerten Luftreinhaltepläne zu erstellen sind, die Maßnahmen enthalten, die den Zeitraum einer Nichteinhaltung so kurz wie möglich halten. In Luftreinhalteplänen enthaltene Maßnahmen erhalten damit aufgrund des Umstands, dass sie einem Luftreinhalteplan entstammen, die notwendige Legitimitätsgrundlage. Dabei ist es Aufgabe der zuständigen Immissionsschutzbehörden in Zusammenarbeit mit den Kommunen, Luftreinhaltepläne zu erstellen und die dort vorgesehenen Maßnahmen umzusetzen.

Bei Eingriffen in den Verkehrsablauf muss geprüft werden, wer für die jeweilige Straße hinsichtlich Bau und Betrieb zuständig ist. Nach §5, Bundesfernstraßengesetz FStrG sind bei Gemeinden mit mehr als 80.000 Einwohnern für Ortsdurchfahrten im Zuge von Bundesstraßen die Gemeinden Träger der Straßenbaulast. In Gemeinden mit weniger als 80.000 Einwohnern ist der Bund Träger der Baulast. Die Bundesländer üben die Straßenaufsicht im Auftrag des Bundes aus.

Wenn die Ortsdurchfahrt eine Landes- oder Kreisstraße ist, sind nach den jeweiligen Straßengesetzen der Bundesländer bei Gemeinden mit mehr als 30.000 Einwohnern (Thüringen), bzw. 50.000 Einwohnern (Brandenburg, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt) die Gemeinden Träger der Straßenbaulast. Maßnahmen, die auf Straßen vorgesehen werden, die nicht in der Baulast der Gemeinde sind, können daher nur in Abstimmung mit dem zuständigen Baulastträger realisiert werden.

#### Eignung

Ob eine bestimmte Maßnahme des Luftreinhalteplans geeignet ist, kann nur planerisch geprüft werden<sup>26</sup>. Dazu werden in der Regel Modellrechnungen u.a. auf Basis von Verkehrsdaten/Verkehrsvorhersagen, Fahrzeugflottenentwicklungen und meteorologischen Eingangsdaten eingesetzt. Eine Maßnahme ist dann geeignet, wenn sie mit großer Sicherheit erwarten lässt, dass das angestrebte Ziel in dem vorgegebenen Zeitraum erreicht wird.

Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersuchten UVM-Systeme umfassen in allen Fällen nur Maßnahmen, deren Wirkung ex ante ermittelt und als ausreichend zur Zielerreichung qualifiziert worden sind. Das gibt die Möglichkeit, die tatsächliche Wirkung mit der ex ante prognostizierten Wirkung zu vergleichen und daraus Rückschlüsse auf die Verfahrensqualität und ggf. notwendige Verfahrensverbesserungen abzuleiten.

#### Erfordernis

Das generelle Erfordernis zur Umsetzung von Maßnahmen ergibt sich aus der notwendigen Einhaltung der lufthygienischen Grenzwerte. Sie stellt daher eine Pflichtaufgabe für die zuständigen Immissionsschutzbehörden und Kommunen dar.

Der Nachweis des Erfordernisses für eine bestimmte Maßnahme bedingt, dass der Lösungsraum möglicher Maßnahmen ausgelotet wird. In der Regel gibt es mehrere in Betracht kommende Maßnahmen oder Maßnahmenvarianten, die das Ziel als erreichbar erscheinen lassen und die damit den Lösungsraum beschreiben.

Somit ergibt sich durch die notwendige Abwägung mit anderen Interessen (und ggf. Schutzgütern) ein gewisser planerischer Spielraum bei der Festlegung der konkreten Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel.

#### Angemessenheit

Wenn der Nachweis des Erfordernisses einer Maßnahme geführt ist, wird die Angemessenheit geprüft. Der Rang des Schutzgutes „Luftreinhaltung zum Schutz der menschlichen Gesundheit“ wird allein aufgrund seiner gesetzlichen Grundlage gegenüber dem Rang des Schutzgutes der „individuellen Mobilität“ in der Regel Vorrang haben.

Um unzumutbare Beeinträchtigungen im Einzelfall jedoch zu vermeiden, kann das Instrument der Ausnahmegenehmigung genutzt werden. Auch kann berücksichtigt werden, dass mit zumutbaren Umrüstmaßnahmen an Fahrzeugen Fahrverbote verhindert werden können. Da Ausnahmegenehmigungen die positive Wirkung einer Maßnahme beeinträchtigen, muss dieses Thema im Kontext der Eignungsprüfung mit behandelt werden.

<sup>26</sup> LUBW: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen, Grundlage HBEFA 3.1, Karlsruhe Dezember 2010.

Indikator Beschreibung	Braunschweig	Erfurt	Potsdam	Wittenberg	Steiermark
M1: dynamisch geschaltetes Lkw-Fahrverbot				X	
M2: Verkehrsumleitungen		X			
M3: Maßnahmen an LSA zur Verkehrsverflüssigung	X	X	X		
M4: Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit					X
M5: Zuflussdosierung	X	X	X		
M6: Informationen zur aktuellen Situation / Empfehlungen zur Nutzung des ÖPNV über Informationstafeln		X	X		

Tab. 3-2: Umgesetzte Maßnahmen in den Untersuchungsgebieten

### 3.3.3 Diskussion der in den UG realisierten Maßnahmen

In den fünf ausgewählten Untersuchungsgebieten wurden die in Tabelle 3-2 aufgelisteten Maßnahmen umgesetzt.

Die Tabelle zeigt, dass in den meisten Untersuchungsgebieten die Kombination „Zuflussdosierung außen (M5) mit Verkehrsverflüssigung innen (M3)“ als UVM-Maßnahme gewählt worden ist. Außen wird dabei mittels Zuflussdosierung der in die Stadt bzw. in den Hotspotbereich einfahrende Verkehr gedrosselt (Maßnahme M5). Das hat längere Wartezeiten insbesondere für Pendler, die in die Stadt einfahren, zur Folge. Innerhalb der Stadt wird dem Hauptverkehr (Längsverkehr) „mehr Grün“<sup>27</sup> zugeteilt, was eine verbesserte Grüne Welle ermöglicht (Maßnahme M3). Der Längsverkehr innerhalb des Beeinflussungsraumes wird flüssiger, was zu weniger Brems- und Beschleunigungsvorgängen und damit zu verringerten Schadstoffemissionen führt. Für den Querverkehr und ggf. auch für den Rad- und Fußverkehr steht dadurch allerdings in der Regel weniger Grünzeit zur Verfügung. Er erfährt durch längere Wartezeiten an den Lichtsignalanlagen Nachteile.

Diese dynamisch geschalteten Maßnahmen werden teilweise ergänzt durch Informationstafeln (Erfurt und Potsdam), die auf hohe Luftschadstoffbelastungen, die geschaltete Maßnahme, kombiniert mit einer Empfehlung zur Nutzung des öffentlichen Verkehrs, hinweisen (Maßnahme M6) und in Erfurt eine Verkehrsumlenkungsempfehlung anzeigen (Maßnahme M2). In Potsdam und Braunschweig dagegen fehlen geeignete Ausweichstrecken, so dass eine Verkehrsverlagerung möglichst vermieden werden soll. Auf eine Information der Verkehrsteilnehmer über die Schaltung der UVM-Maßnahme (M6) wird daher in Braunschweig bewusst verzichtet.

Als weiterer Maßnahmentyp wurde eine dynamische Lkw-Sperrung eines Straßenzugs in Kombination mit einer Verkehrsumlenkung (M1+M2) realisiert. Hierbei wird die Durchfahrt des Straßenzugs für Lkw gesperrt (Maßnahme M1). Lkw, die ein Ziel innerhalb des gesperrten Bereichs haben, sind jedoch von der Sperrung ausgenommen. Der durchgehende Lkw-Verkehr wird am Entscheidungspunkt über eine Alternativstrecke geführt (Maßnahme M2). Diese Kombination wurde in Wittenberg realisiert.

Die Maßnahme M4 (dynamische Geschwindigkeitsbeschränkung) ist für das UVM Steiermark gewählt worden.

Im Folgenden sollen die in der Tabelle 3-2 aufgeführten Maßnahmen / Maßnahmenkombinationen der vierstufigen Prüfung aus Kapitel 3.3.1 unterzogen werden.

#### Maßnahmenkombination M3+M5 (Braunschweig, Altewiekring)<sup>28</sup>

Ziel der Maßnahme

Das Ziel der Maßnahme ist die Verringerung eines hohen mittleren Jahreswertes der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration sowie die Vermeidung einer Grenzwertüberschreitung für NO<sub>2</sub>.

Die Maßnahme wurde 2015 in einem mehrwöchigen Feldversuch erfolgreich getestet, ist bisher jedoch noch nicht in den Regelbetrieb gegangen. Ursache hierfür sind einerseits haushaltspolitische Gründe, außerdem wurde in 2015 und 2016 der NO<sub>2</sub>-Grenzwert an der Messstation Altewiekring auch ohne UVM knapp eingehalten. Allerdings waren in 2015 und 2016 die auf dem Altewiekring gemessenen Verkehrsmengen bedingt durch mehrere, langanhaltende Baumaßnahmen auf dem Ring selbst und auf wichtigen Zulaufstrecken deutlich

<sup>27</sup> Neben einer Verlängerung der Grünzeit ist auch eine Optimierung der Versatzeiten an den betroffenen Knotenpunkten eine wichtige Maßnahme zur Optimierung einer LSA-Koordinierung.

<sup>28</sup> (UVM-BS, 2010 und UVM-BS, 2012)

niedriger als in den Jahren davor. Es ist davon auszugehen, dass die Verkehrsmengen in der näheren Zukunft wieder ansteigen, was ohne UVM wieder zu Grenzwertüberschreitungen führen könnte.

#### Legitimität der Maßnahme

Der Altwiekring in Braunschweig, auf dem die Maßnahmenkombination vorgesehen ist, ist Teil der Ortsdurchfahrt im Zuge der B4. Die Straßenbaulast liegt bei der Gemeinde (> 80.000 Einwohner), sie ist daher legitimiert, verkehrliche Maßnahmen umzusetzen.

#### Eignung

Ausführliche ex-ante-Untersuchungen in Braunschweig haben gezeigt, dass die Maßnahmenkombination M3+M5 mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Verringerung des Jahresmittelwerts der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen am Hotspot beiträgt. Der Abbau hoher Immissionskonzentrationen mittels einer dynamischen Schaltung der Maßnahmenkombination M3+M5 trägt auch zur Verminderung des Jahresmittelwertes bei und reduziert daher die Wahrscheinlichkeit für eine Grenzwertüberschreitung am Jahresende. Die Maßnahme ist somit zum Erreichen des NO<sub>2</sub>-Ziels als geeignet einzustufen.

#### Erfordernis

Neben der Maßnahmenkombination M3+M5 wurden alternative Ansätze diskutiert. Eine Verkehrsumlenkung während kritischer Zeiten wurde aufgrund der Netz- und Belastungsstruktur als Alternative verworfen. Untersucht wurden verschiedene Alternativen der Lichtsignalsteuerung mit dem Ziel einer Verkehrsverflüssigung im Bereich des Hotspots. Für den Vergleich der Alternativen untereinander wurden als Wirkungsbereiche die „NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen am Hotspot“ sowie die „Auswirkungen auf den Verkehr“ betrachtet. Der Wirkungsbereich „Kosten“ wurde als Randbedingung berücksichtigt.

Hinsichtlich des Wirkungsbereichs „NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentration am Hotspot“ zeigten die Simulationsergebnisse innerhalb der Varianten nur geringe Unterschiede. In allen Fällen konnte nachgewiesen werden, dass die Maßnahmen eine Reduktion der hohen Konzentrationen im Bereich des Hotspots mit hoher Wahrscheinlichkeit erreichen werden.

Im Wirkungsbereich „Verkehr“ wurden je nach Alternative unterschiedliche Wirkungen ermittelt. Die Kombination M3+M5 wies dabei den geringsten

Eingriff der untersuchten Varianten in den Verkehrsablauf auf.

Im Wirkungsbereich „Kosten“ gab es hinsichtlich Investition und Betrieb zwischen den untersuchten Alternativen nur marginale Unterschiede.

Die gewählte Kombination M3+M5 kann somit als erforderlich angesehen werden. Es drängte sich keine andere Möglichkeit mit einer noch günstigeren Bilanz in den verschiedenen Wirkungsbereichen auf.

#### Angemessenheit

Mit der Maßnahmenkombination M3+M5 treten Nachteile für Verkehrsteilnehmer und Anwohner gegenüber der bisherigen Situation auf. Diese Nachteile bewegen sich in einer geringen Größenordnung (Wartezeiterhöhung im Sekundenbereich). Es wird damit weiterhin eine wirtschaftliche Mobilität für die Beteiligten möglich.

Die Immissionsbilanz ist in Summe positiv. Die im Umfeld der Anlage zur Zuflussdosierung auftretenden zusätzlichen Immissionen liegen deutlich unterhalb des Grenzwertes und betreffen im Vergleich zum Hotspot nur eine kleine Gruppe von Personen.

Die Maßnahmenkombination M3+M5 in Braunschweig wird daher als angemessen beurteilt.

### **Maßnahmenkombination M3+M5+M6 (Potsdam)**

#### Ziel der Maßnahme

Das Ziel der Maßnahme ist die Verringerung der hohen Tagesmittelwerte bei PM10 sowie die Reduzierung der hohen mittleren NO<sub>2</sub>-Jahreswerte und die Vermeidung einer Grenzwertüberschreitung für NO<sub>2</sub>.

#### Legitimität der Maßnahme

Im Jahre 2010 traten an allen Hotspots der Landeshauptstadt Potsdam Grenzwertüberschreitungen für PM10 und NO<sub>2</sub> auf. Die Stadt musste daher ihrer Aufgabe nachkommen, Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung zu ergreifen. Die Stadt Potsdam entschied sich 2011 auf der Grundlage des Luftreinhalteplans für die Einrichtung eines UVM, das 2012 in allen Hotspots in Betrieb ging.

Der Hotspot Zeppelinstraße liegt auf der B1. Für verkehrliche Maßnahmen ist die Kommune zuständig (> 80.000 Einwohner). Das Tätigwerden im Allgemeinen und mit Maßnahmen des Verkehrsmanagements im städtischen Bereich im Besonderen

fällt somit eindeutig in den Aufgabenbereich der Kommune. Die Maßnahme ist legitim.

#### Eignung

Ebenso wie in Braunschweig, Altewiekring sind in Potsdam vor Einrichtung des UVM-Systems umfangreiche ex-ante-Untersuchungen in Form von Modellierungen durchgeführt worden. Dabei hat sich die Maßnahmenkombination M3+M5+M6 als geeignet gezeigt, mit hoher Wahrscheinlichkeit relevante Minderungen der Immissionskonzentrationen von PM10 und NO<sub>2</sub> an den Hotspots zu erreichen. Die Maßnahme ist somit als geeignet einzustufen.

#### Erfordernis

In Potsdam wurden Alternativen gegenüber der Maßnahmenkombination M3+M5+M6 untersucht. Näher betrachtete und analysierte Alternativen waren Verkehrsumlenkungen während der kritischen Zeiten. Die Untersuchungen ergaben, dass eine Verkehrsumlenkung in Potsdam aufgrund der Straßennetzstruktur nicht sinnvoll zu realisieren ist. Weitere Maßnahmen wie bspw. Lkw-Fahrverbote und die Einrichtung einer Umweltzone wurden im Rahmen der Luftreinhalteplanung untersucht und aufgrund der ungeeigneten Netzstruktur verworfen. So konzentriert sich der Variantenvergleich auf unterschiedliche Häufigkeiten von Schaltungen. Es wurde der später realisierte Fall mit moderater Schaltung der Maßnahmen mit dem Fall einer deutlich häufigeren Schaltung verglichen.

Für die vergleichende Bewertung wurden als Wirkungsbereiche die „Immissionskonzentrationen PM10 und NO<sub>2</sub> an den Hotspots“, „Auswirkungen auf den Verkehr“ und -als Randbedingung- die „Kosten“ betrachtet.

Im Wirkungsbereich „Immissionen“ liegt der wesentliche Mehrwert der gewählten Lösung (M3+M5+M6) gegenüber einer Lösung ohne M6 in der Begründung der Maßnahme M5 gegenüber Verkehrsteilnehmern und der daraus vermuteten höheren Akzeptanz. Durch die Hinweistafeln wird der Verkehrsteilnehmer darüber informiert, dass grundsätzlich eine hohe Luftschadstoffsituation besteht, die Maßnahme in der (hier näher betrachteten) Behlertstraße geschaltet ist und eine längere Wartezeit am Eingang der Anlage zur Zuflussdosierung entsteht. Ein konkreter Nachweis der Wirkungen der Verkehrsinformation konnte nicht geführt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass Informationen zu einer höheren Akzeptanz der Maßnahmen führen. In Berlin z. B. wurde eine Erhebung zur

Bedeutung aktueller Verkehrsinformationen für den Autofahrer und den eingesetzten Medien durchgeführt (GIESEL, 2014). Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass die Informationstafeln in der Akzeptanzfrage einen sehr hohen Stellenwert besitzen. Das UVM in Potsdam erstreckt sich auf vier Hotspotbereiche und damit mehrere Informationstafeln, sodass die Information im ganzen Stadtgebiet präsent ist.

Aus dieser Diskussion ergibt sich, dass die Kombination M3+M5+M6 gegenüber der Variante M3+M5 vorzuziehen und somit erforderlich ist.

#### Angemessenheit

Die Angemessenheit der Maßnahme wird durch Vergleich mit dem Ausgangszustand geprüft.

Im Wirkungsbereich „Verkehr“ treten mit der Maßnahmenkombination M3+M5+M6 im Saldo Nachteile für Verkehrsteilnehmer gegenüber der bisherigen Situation auf, jedoch nur zu den geschalteten Zeiten. Die Nachteile liegen - über das Jahr betrachtet - unter 3 % und stellen eine wirtschaftliche Mobilität für die Beteiligten nicht infrage. Auf den Routen, auf denen die Verkehrsverflüssigung wirkt, gibt es Reisezeitersparnisse, auf den Nebenrouten Reisezeiterhöhungen. Für die am stärksten betroffenen Verkehrsteilnehmer liegen die Reisezeiterhöhungen im Schaltungsfall bei weniger als 3 Minuten.

Im Bereich „Immissionen“ treten Vorteile vor allem um die Hot Spot Bereiche auf, auf deren Verbesserung sich die Schaltungen konzentrieren. Im Bereich der Zuflussdosierung mit höheren Immissionen liegt die Straße außerhalb der bebauten Lage. Die auftretenden zusätzlichen Immissionen in diesem Bereich können daher vernachlässigt werden.

Im Wirkungsbereich „Kosten“ wurde keine kostengünstigere Alternative gesehen, die im Hot Spot Bereich vergleichbare Wirkungen hätte erzielen können.

Der Schutz der Gesundheit der Bevölkerung durch die Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen an den Hotspots hat eindeutigen Vorrang. Die Maßnahmenkombination M3+M5+M6 in Potsdam wird daher als angemessen beurteilt.

### Maßnahmenkombination M3+M5+M6+M2 (Erfurt)<sup>29</sup>

#### Ziel

Das Ziel der Maßnahme ist die Reduktion der Grenzwertüberschreitungen für PM10 (Anzahl der Überschreitungstage) und für NO<sub>2</sub> (Jahresmittelwert).

#### Legitimität der Maßnahme

Es ist Aufgabe der Kommune, Maßnahmen zu ergreifen, wenn eine Grenzwertüberschreitung von Immissionskonzentrationen bei PM10 oder NO<sub>2</sub> droht. In diesem Fall muss die Gemeinde zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung handeln. Das Tätigwerden im Allgemeinen und mit Maßnahmen des Verkehrsmanagements im städtischen Bereich im Besonderen fällt eindeutig in den Aufgabenbereich der Kommune.

In den Jahren 2010 und 2011 lag die Anzahl an Überschreitungstagen bei PM10 am Hotspot Bergstraße (Innenstadtring) über dem Grenzwert. In denselben beiden Jahren gab es auch bei NO<sub>2</sub> am selben Hotspot Überschreitungen des Grenzwertes für den Jahresmittelwert. Folgerichtig wurde die Einrichtung eines UVM-Systems von der Landeshauptstadt Erfurt beschlossen und für die Leipziger Straße 2014 in Betrieb genommen.

Die Maßnahme liegt auf der Kreisstraße K3 (außerhalb des Schnellstraßenringes Landesstraße L1055). Für Bau und Betrieb ist nach dem Thüringischen Straßengesetz die Kommune zuständig. Die Maßnahme war geboten und hinsichtlich Zuständigkeit legitim.

#### Eignung

Ebenso wie in den anderen Untersuchungsgebieten sind in Erfurt vor Einrichtung des UVM-Systems umfangreiche ex-ante-Untersuchungen durchgeführt worden. Dabei hat sich die Maßnahmenkombination M3+M5+M6+M2 als geeignet gezeigt. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen geht hervor, dass mit den Komponenten Zuflussdosierung am Eingang in die Stadt, Verflüssigung im Zulauf zur Stadt, Information zur Nutzung des ÖPNV und Empfehlung zur Umlenkung von Verkehrsströmen eine deutliche Reduktion der hohen PM10 und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an den Hotspots mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erreichen ist. Die Maßnahme ist somit zum Erreichen des PM10- und NO<sub>2</sub>-Ziels als geeignet einzustufen.

#### Erfordernis

In Erfurt wurden die Maßnahmenkombination M3+M5+M6+M2 sowie Alternativen zu dieser Kombination untersucht. Die Alternativen ergaben sich aus unterschiedlichen Kombinationen der Einzelmaßnahmen. Die Maßnahme M1 (Lkw-Verbot) wurde vorab ausgeschlossen, weil für den Lkw keine Ausweichmöglichkeit (ausschließlich Quell- bzw. Zielverkehr) besteht. Bei M4 (Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit) war maßgebend, dass die Hot Spot Strecken bereits Geschwindigkeitsbeschränkungen (im Zulauf auf die Innenstadt 50km/h, im Hot Spot Bereich der Innenstadt 30 km/h) aufweisen.

Als Wirkungsbereiche wurden die „PM10- und NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen am Hotspot“ und „Verkehr“ betrachtet. Die „Kosten (Investition, Betrieb)“ wurden in die Abwägung einbezogen.

Im Wirkungsbereich „Immissionen“ ergaben die Untersuchungen, dass eine umweltsensitive Verkehrssteuerung in Erfurt und die damit verbundene Glättung des Verkehrsablaufs an den Hotspots notwendig ist, um die Ziele zu erreichen. Sie zeigten, dass mit der Kombination M3+M5+M6+M2 die Ziele am weitest gehenden erreicht werden können. Die Maßnahmenkombination ist zur Zielerreichung somit erforderlich, alternative Kombinationen waren nicht ausreichend. Die Kosten des umfangreicheren Maßnahmenpakets waren daher erforderlich.

#### Angemessenheit

Die Angemessenheit der Maßnahme wird durch Vergleich mit dem Ausgangszustand geprüft.

Im Bereich „Verkehr“ treten mit der Maßnahmenkombination M3+M5+M6+M2 zwar Nachteile für Verkehrsteilnehmer gegenüber der bisherigen Situation auf, jedoch nur zu den geschalteten Zeiten. Diese Nachteile bewegen sich für die am stärksten betroffene Personengruppe im Bereich von weniger als 1 Minute. Auf das Jahr bezogen beträgt die Reisezeiterhöhung weniger als 0,8 %. Dies stellt eine wirtschaftliche Mobilität für die Beteiligten nicht infrage. Die Umlenkungsmaßnahmen sind freiwillig, stellen also keine besondere Härte dar.

Im Bereich „Immissionen“ wird mit der Maßnahmenkombination das Ziel an den Hot Spots mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht. Im Bereich der Anlage zur Zuflussdosierung verschlechtert sich die Immissionssituation, dieser Bereich liegt aber außerhalb der bebauten Lage, sodass die auftretenden zu-

<sup>29</sup> Umweltsensitive Verkehrssteuerung Erfurt (UVE)

sätzlichen Immissionen an dieser Stelle vernachlässigt werden können.

Im Wirkungsbereich „Kosten“ wurden keine Alternativen gefunden, die gleiche Immissionswirkungen bei geringeren Investitions- und Betriebskosten hätten erwarten lassen. Die Investitionen der installierten Anlagen sind überdies für weitere Anwendungen nutzbar.

Der Schutz der Gesundheit der Bevölkerung durch die Vermeidung hoher Immissionskonzentrationen PM10 und NO<sub>2</sub> an den Hotspots hat bei der Abwägung der Vor- und Nachteile der Maßnahmen gegenüber dem Ausgangszustand eindeutigen Vorrang. Die Maßnahmenkombination M3+M5+M6+M2 in Erfurt wird daher als angemessen beurteilt.

#### **Maßnahmenkombination M1+M2 (Wittenberg)**

Ziel:

Das Ziel der Maßnahme ist die Reduktion der Grenzwertüberschreitungen für PM10 (Anzahl der Überschreitungstage).

Legitimität der Maßnahme

Es ist Aufgabe der Kommune, Maßnahmen zu ergreifen, wenn eine Grenzwertüberschreitung von Immissionskonzentrationen bei PM10 droht. In diesem Fall muss die Gemeinde zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung handeln. Das Tätigwerden im Allgemeinen und mit Maßnahmen des Verkehrsmanagements im städtischen Bereich im Besonderen fällt eindeutig in den Aufgabenbereich der Kommune.

In den Jahren 2005 bis 2011 lag die Anzahl an PM10-Überschreitungstagen am Hotspot Dessauer Straße über dem Grenzwert. Folgerichtig wurde die Einrichtung eines UVM-Systems beschlossen und mit dem Aktionsplan 2008 in Betrieb genommen.

Die Maßnahme liegt auf der B187. Nach dem Bundesfernstraßengesetz ist das Land in der Auftragsverwaltung des Bundes für die Durchführung von verkehrlichen Maßnahmen auf Bundesfernstraßen in Ortsdurchfahrten von Gemeinden < 80.000 Einwohnern zuständig. Das Land hat daher die Maßnahme angeordnet.

Die Maßnahme war geboten, hinsichtlich der Zuständigkeit gesetzeskonform und somit legitim.

Eignung

Vor Einrichtung des UVM-Systems ist in Wittenberg die Maßnahmenkombination M1+M2 ex ante auf Wirksamkeit geprüft worden. Dabei hat sich die Maßnahmenkombination als geeignet gezeigt, die Anzahl an Überschreitungstagen bei PM10 am Hotspot mit hoher Wahrscheinlichkeit zu reduzieren. Die Maßnahme ist somit zum Erreichen des PM10 Ziels als geeignet einzustufen.

Erfordernis

In Wittenberg wurde als Alternative gegenüber der Maßnahmenkombination M1+M2 eine Verkehrsverflüssigung des Hauptstroms in der Dessauer Straße untersucht. Die Untersuchung ergab, dass eine Verkehrsverflüssigung in der Dessauer Straße zwar sinnvoll ist, dass diese Maßnahme allein aber nicht ausreicht, um das PM10-Ziel zu erreichen. Im Vergleich der Alternativen war daher der Kombination M1+M2 der Vorzug zu geben, sodass die Maßnahmenkombination als erforderlich eingestuft wird.

Angemessenheit

Die Angemessenheit der Maßnahmenkombination wird durch Vergleich mit dem Ausgangszustand geprüft. Mit der Maßnahmenkombination M1+M2 sind verschiedene Nachteile für Verkehrsteilnehmer und Anwohner verbunden:

- Der durchgehende Lkw-Verkehr wird auf eine umwegige Route umgeleitet;
- die Anwohner, die an der Umleitungsrouten wohnen, werden durch Lärm und Schadstoffe belastet.

In der Immissionsbilanz (Anzahl Einwohner und Höhe der Immissionskonzentration) ergaben sich auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen klare Vorteile für das Schalten der Maßnahme, wenn die Gefahr hoher Immissionskonzentrationen am Hotspot besteht.

Im Wirkungsbereich „Verkehr“ ergibt sich bei Schaltung der Maßnahme die genannte Erhöhung der Lkw-Fahrleistung. Sie beschränkt sich aber auf die Schaltzeiten, sodass die Auswirkungen auf die gewerbliche Wirtschaft, ganzjährig betrachtet, im kleinen Rahmen bleiben. Die Mobilität wird durch die Maßnahme nicht infrage gestellt.

Im Bereich Investitions- und Betriebskosten erweist sich die Maßnahme durch die Nutzung von Klappschildern und eine effiziente Organisation, bei der

auf vorhandenes Personal zurückgegriffen wird, als sehr kostengünstig

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Nachteile der Maßnahme gering sind und die Vorteile klar überwiegen. Der Schutz der Gesundheit der Bevölkerung durch die Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen an den Hotspots hat eindeutigen Vorrang. Die Maßnahmenkombination M1+M2 in Wittenberg wird daher als angemessen beurteilt.

#### **Maßnahme M4 (Großraum Graz / Steiermark)**

Ziel:

Das Ziel der Maßnahme ist, nach IG-L Steiermark (2014), „die durch den Verkehr verursachte Immissionsbelastung durch die Luftschadstoffe PM10 (Feinstaub) und NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) zu verringern und durch eine Reduktion der Höchstgeschwindigkeit auf Teilabschnitten der A2 Süd-Autobahn sowie der A9 Pyhrn-Autobahn die Luftqualität zu verbessern.“

Legitimität der Maßnahme

Es ist Aufgabe der Republik Österreich als Eigentümer des österreichischen Autobahnnetzes, Maßnahmen zu ergreifen, wenn in den an Autobahnen angrenzenden Gebieten eine Grenzwertüberschreitung von Immissionskonzentrationen bei PM10 und/oder NO<sub>2</sub> droht. In diesem Fall muss die Republik Österreich zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung handeln.

In Folge einer ungünstigen Immissionssituation im Großraum Graz (hier treffen sich zwei Autobahnen A2 und A9) wurde bereits 2008 die Einrichtung eines UVM-Systems zur dynamischen Geschwindigkeitssteuerung (statt Tempo 130 gilt bei Schaltung der Maßnahme Tempo 100 als zulässige Höchstgeschwindigkeit) beschlossen.

Die Maßnahme war geboten, hinsichtlich der Zuständigkeit gesetzeskonform und somit legitim.

Eignung

Im Rahmen von ex-ante Untersuchungen ist zuvor ermittelt worden, dass die Maßnahme M4 mit hoher Wahrscheinlichkeit bei PM10 und NO<sub>2</sub> deutliche Wirkungen erzielen wird. Die Maßnahme wurde somit zum Erreichen des PM10 Ziels als geeignet eingestuft.

Erfordernis

Die Autobahnen A2 und A9 bündeln die weiträumigen Ströme im Großraum Graz. Auch regionale und

lokale Ströme werden durch die Autobahn gebündelt, was u. a. auch Sicherheitsvorteile bietet. Als Alternative stand die permanente Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zur Verfügung. Im Vergleich der Alternativen wurde aufgrund des effizienteren Eingriffs in den Verkehrsablauf im Abwägungsprozess der dynamischen Variante der Vorzug gegeben, sodass die Maßnahme nur an Tagen hoher potenzieller Maßnahmeneffizienz geschaltet wird. Die Maßnahme wird somit als erforderlich eingestuft.

Angemessenheit

Die Angemessenheit der Maßnahme wird durch Vergleich mit dem Ausgangszustand geprüft. Die Schaltung der Maßnahme M4 im Großraum Graz führt zu Nachteilen für Verkehrsteilnehmer, deren Reisezeiten anwachsen. Wenn sich Verkehre aufgrund der Maßnahme während der Schaltzeiten auf das nachgeordnete Netz verlagern, führt dies auch zu Nachteilen für Anwohner: Die durchgeführten Untersuchungen haben aber gezeigt, dass Verlagerungswirkungen gering sein dürften und daher vernachlässigt werden können.

In der Immissionsbilanz ergaben sich auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen klare Vorteile für das Schalten der Maßnahme, wenn die Gefahr hoher Immissionskonzentrationen am Hotspot besteht, bei zugleich geringen Nachteilen bei Verkehrsteilnehmern durch Fahrzeiterhöhungen.

Die zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten für die Steuerung wurden gegenüber den Vorteilen der Immissionsminderung als hinnehmbar angesehen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Nachteile der Maßnahme gering sind und die Vorteile klar überwiegen. Der Schutz der Gesundheit der Bevölkerung durch die Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen an den Hotspots hat eindeutigen Vorrang. Die Maßnahme M4 im Großraum Graz / Steiermark wird daher als angemessen beurteilt.

### **3.3.4 Beispiele zukünftiger Maßnahmen zum Erreichen des NO<sub>2</sub>-Ziels**

#### **Neudefinition der Fahrverbote in Umweltzonen**

Nach § 40 BImSchG kann der Kraftfahrzeugverkehr durch die zuständige Verkehrsbehörde beschränkt oder verboten werden, soweit ein Luftreinhalteplan nach § 47 Abs. 1 oder 2 BImSchG dies vorsieht. Hauptziel der Einrichtung einer Umweltzone in der

Vergangenheit war die Einhaltung des PM10 Grenzwertes. Um auch das NO<sub>2</sub>-Ziel zu erreichen, müsste die Umweltzone im Hinblick auf Fahrverbote neu definiert werden.

In der Vergangenheit haben sich Kommunen meist für Maßnahmen entschieden, die permanent wirken. Die im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes eingehenden zu analysierenden Maßnahmen haben diesen Maßnahmentyp um dynamische Maßnahmen erweitert. Diese Maßnahmen werden nur dann eingesetzt, wenn Grenzwertüberschreitungen voraussichtlich eintreten könnten. Sie reduzieren somit die Eingriffe in den Verkehr auf die Zeiten, in denen die Maßnahmen gebraucht werden. Dies hat Vorteile vor allem dann, wenn die Eingriffe, wie absehbar, restriktiver werden müssen.

Umweltzonen können dazu genutzt werden, die räumliche Ausdehnung einer Maßnahme zu definieren. Zukünftige dynamische Maßnahmen können sich aber auch relativ kleinräumig auf einzelne Straßenabschnitte oder Hotspots beschränken:

- dynamisch geschaltetes Lkw-Fahrverbot,
- dynamische Einfahrverbote für Diesel-Kraftfahrzeuge (Verkehrszeichen 251 – Durchfahrt verboten – mit Zusatzschild „Gilt für Diesel“),
- dynamische Zuflussdosierung,
- Innenstadtverbot für alte Autos<sup>30</sup>,
- Einführung der Blauen Plakette<sup>31</sup>,
- Dynamische Sperrung der Umweltzone für den allgemeinen Kfz-Verkehr,
- Einführung einer dynamischen City-Maut, um weniger motorisierten Individualverkehr in der Umweltzone fahren zu lassen,
- dynamische Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit (40 km/h) auf HVS,
- Umweltzone als dynamische Tempo-30-Zone und
- weitergehende Maßnahmen an LSA zur Verkehrsverflüssigung in der Umweltzone.

### Kommentar

Zu einer Reihe der hier genannten „Neuen Maßnahmen“ gibt es Voruntersuchungen, ex ante Wirkungsschätzungen und Erfahrungen aus Realexperimenten. Sie alle umfassen aber nicht die dynamischen Versionen, die sich über UVM realisieren lassen und die die Schwere des Eingriffs reduzieren.

Bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen geht es auch um die Zeit, die eine Einführung eines UVM benötigt. Es werden Maßnahmen gesucht, die schnell einführbar sind und die schnell Wirkungen entfalten. Kommunen, die bereits Vorleistungen erbracht haben, sind hier im Vorteil.

Alternativen, die z. B. die Übergangsfrist bis zum Einhalten der Grenzwerte substanziell verlängern oder die Grenzwerte für eine befristete Zeit erhöhen, können vor dem Hintergrund der EU-Gesetzgebung ausgeschlossen werden. Die Kommunen sind deshalb zum Handeln verpflichtet.

## 3.4 Vertragsverletzungsverfahren bei Nichteinhaltung der Grenzwerte<sup>32</sup>

Werden die nach dem EU-Recht einzuhaltenden Luftqualitätsgrenzwerte in einem Mitgliedsstaat überschritten, kann die EU-Kommission ein Vertragsverletzungsverfahren gegen diesen Mitgliedstaat einleiten und - nach Durchführung eines außergerichtlichen Vorverfahrens - den Gerichtshof der Europäischen Union anrufen (vgl. Art. 258 und 260 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV)). Das Vertragsverletzungsverfahren umfasst mehrere Phasen.

### 3.4.1 Außergerichtliches Vorverfahren

Ziel des Vorverfahrens ist es, eine außergerichtliche Einigung zwischen Mitgliedstaat und Kommission zu erreichen. Es dient außerdem der Bestimmung des Streitgegenstandes einer etwaigen Klage.

Ist die Kommission der Auffassung, dass ein Mitgliedstaat gegen eine Verpflichtung aus den Verträgen verstoßen hat, fordert sie ihn zunächst auf, innerhalb einer bestimmten Frist hierzu Stellung zu nehmen (Mahnschreiben).

Kommt der Mitgliedstaat dieser Aufforderung nicht nach oder kann die Stellungnahme des Mitgliedstaates den Vorwurf der Kommission nicht ausräumen, bringt die Europäische Kommission ihren Standpunkt zu dem Verstoß in einer mit Gründen versehenen Stellungnahme zum Ausdruck. In die-

<sup>30</sup> Maßnahme für die Pariser Innenstadt, zitiert in Eisner, Arno: Beitrag vom 02.06.2016, 14:15 in CHIP.

<sup>31</sup> DUH, abgerufen am 21.10.2016

<sup>32</sup> Diese und die folgenden Ausführungen entstammen der „Anlage zum Erlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen vom 16.04.2012 V-3-8800.2.8 (Auszug)“

ser Stellungnahme wird der Gegenstand einer möglichen Vertragsverletzungsklage vor dem Gerichtshof dargelegt und der Mitgliedstaat aufgefordert, den Verstoß innerhalb einer bestimmten Frist abzustellen. Außerdem muss detailliert und zusammenhängend dargelegt werden, aus welchen Gründen die Europäische Kommission zu dem Schluss gekommen ist, dass der betreffende Mitgliedstaat einer Vertragsverpflichtung nicht nachgekommen ist.

Kommt der Mitgliedstaat der Aufforderung der Kommission innerhalb der gesetzten Frist nicht nach, kann die Kommission den Gerichtshof anrufen.

### 3.4.2 Gerichtliches Verfahren

Es werden zwei Verfahrensstufen unterschieden: Erstverfahren und Zweitverfahren.

#### Erstverfahren

Mit der Erhebung der Klage beim Gerichtshof der Europäischen Union wird das gerichtliche Verfahren eingeleitet. Die Vertragsverletzungsklage richtet sich auf die Feststellung des EuGH, dass der beklagte Mitgliedstaat einer Verpflichtung aus den Verträgen nicht nachgekommen ist.

Stellt der Gerichtshof durch Urteil fest, dass der Mitgliedstaat gegen EU-Recht verstoßen hat - etwa weil keine geeigneten Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität durchgeführt worden sind -, ist der Mitgliedstaat verpflichtet, den Vertragsverstoß zu beenden. Die Pflicht trifft nicht nur den Mitgliedstaat als solchen, sondern auch alle seine Organe, denen das vertragsverletzende Verhalten zuzurechnen war oder die Abhilfe schaffen können. Die notwendigen Maßnahmen müssen nach ständiger Rechtsprechung des EuGH unverzüglich vorgenommen und so schnell wie möglich abgeschlossen werden.

#### Zweitverfahren

Hat der Mitgliedstaat nach Auffassung der Kommission der durch den Gerichtshof festgestellten Vertragsverletzung nicht abgeholfen, kann die Kommission beim Gerichtshof in einem „Zweitverfahren“ die Festsetzung eines Pauschalbetrages oder Zwangsgeldes beantragen (sofern dies nicht bereits im Erstverfahren geschehen ist).

In den Fällen, in denen der Mitgliedstaat gegen seine Verpflichtung verstoßen hat, Maßnahmen zur Umsetzung einer Richtlinie mitzuteilen, kann die Kommission die ihrer Meinung nach angemessene

Höhe des zu zahlenden Pauschalbetrags bzw. Zwangsgelds benennen, wenn sie dies für zweckmäßig hält. Stellt der Gerichtshof einen Verstoß fest, kann er die Zahlungsverpflichtung bereits im Erstverfahren festsetzen.

Vor Erhebung der Klage auf Zwangsgeldfestsetzung muss die Kommission dem Mitgliedstaat erneut Gelegenheit zur Stellungnahme geben. Die Höhe des Zwangsgeldes bzw. Pauschalbetrages hängt von den Umständen des Einzelfalls ab.

Nach ständiger Rechtsprechung des Gerichtshofs verfügt die Europäische Kommission in Bezug auf die Einleitung des Vorverfahrens und die Einreichung der Vertragsverletzungsklage über einen Ermessensspielraum.

Im Juni 2015 hatte die EU-Kommission ein Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland wegen anhaltender Überschreitung der NO<sub>2</sub>-Grenzwerte eingeleitet. Die EU-Kommission bekräftigte, dass Maßnahmen wie das Verbot von Dieselfahrzeugen in städtischen Gebieten und die Förderung von Hybrid- oder Elektroautos oder anderer Fahrzeuge, die ohne Schadstoffausstoß betrieben werden können, einen wesentlichen Beitrag zur Problemlösung leisten könnten.

### 3.4.3 Innerstaatliche Lastentragung

Die finanziellen Sanktionen, die aus einem Vertragsverletzungsverfahren resultieren, sind in Deutschland jeweils von derjenigen staatlichen Ebene zu tragen, in deren Zuständigkeits- und Aufgabenbereich die Pflichtverletzung erfolgt ist (Art. 104a Grundgesetz, § 1 Abs. 1 Lastentragungsgesetz).

Die Zuständigkeit für die Luftreinhalteplanung ist in Deutschland auf die Bundesländer übertragen worden. Im Fall der Überschreitung der Grenzwerte der EU-Luftqualitätsrichtlinie müsste somit das Bundesland für die Zahlungen aufkommen. Eine Überwälzung der Kosten auf die jeweilige Kommune ist nicht möglich.

### 3.4.4 Höhe der Strafzahlungen

Die Kommission definiert das Zwangsgeld als „Summe der Tagessätze, die ein Mitgliedstaat zu zahlen hat, wenn er einem Urteil des Gerichtshofs nicht nachkommt, und zwar gerechnet ab dem Tag, ab dem das zweite Urteil des Gerichtshofs ge-

mäß Art 228 Absatz 2 EG1 dem betreffenden Mitgliedstaat zur Kenntnis gebracht wird, bis zur Beendigung des Verstoßes“. Die Höhe des Tagessatzes berechnet sich laut Kommissionsmitteilung durch Multiplikation eines einheitlichen Grundbetrags (700 €/d) mit einem Schwerekoeffizienten (von 1 bis 20) und einem Dauerkoeffizienten (von 1 bis 3). Das Ergebnis wird mit einem festen Länderfaktor (für die Bundesrepublik aktuell 20,5) multipliziert, der sowohl die Zahlungsfähigkeit des Mitgliedstaats als auch seine Stimmenzahl im Rat berücksichtigt ...“.

Der Tagessatz für die Bundesrepublik Deutschland liegt je nach Einstufung (2017) zwischen Minimum 14.350 und Maximum 861.000 €.

### 3.5 Klagen und Gerichtsurteile

Die Vorgaben der EU haben in kurzer Zeit rechtliche Unterstützung erfahren. So hat sich die DUH als Sachwalterin des Gesundheitsschutzes der Bevölkerung hervorgetan. In einer Vielzahl von Gerichtsverfahren wurden Verwaltungen an ihre Pflichten erinnert<sup>33</sup>.

In Tabelle 3-3 ist eine Übersicht über die von der DUH eingereichten Klagen dargestellt.

Mit den Klagen hat die DUH erstritten, dass die im Entwurf vorliegenden Luftreinhaltepläne überarbeitet werden mussten, da aus den ex ante Schätzungen der zuständigen Behörden abzuleiten war, dass bei Umsetzung aller im Entwurf vorgesehenen Maßnahmen der vorgegebene Grenzwert von NO<sub>2</sub> nicht eingehalten werden kann („Maßnahmenbündel ungeeignet“).

Inzwischen liegt eine Vielzahl von Gerichtsentscheidungen vor<sup>34</sup>. Ihnen allen ist gemein, dass Luftreinhaltepläne Maßnahmen enthalten müssen, die gewährleisten, dass die Immissions-Ziele so schnell wie möglich erreicht werden.

Das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig urteilte am 27.02.2018 zu der Frage der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen und erläuterte seine höchstrichterliche Sichtweise am Beispiel des streckenbezogenen Verkehrsverbots für bestimmte Dieselfahrzeuge in Düsseldorf:

<sup>33</sup> Quelle: Deutsche Umwelthilfe e.V. Hintergrundpapier – Klagen für Saubere Luft

<sup>34</sup> <http://legal.cleanair-europe.org/de/recht/deutschland/klagen-und-urteile/>

1. Erweist sich ein auf bestimmte Straßen oder Straßenabschnitte beschränktes Verkehrsverbot für (bestimmte) Dieselfahrzeuge als die einzig geeignete Maßnahme zur schnellstmöglichen Einhaltung der Stickstoffdioxid-Grenzwerte, verlangt Art. 23 Abs. 1 Unterabs. 2 der Richtlinie 2008/50/EG, diese Maßnahme zu ergreifen.
2. Die Anordnung eines Verkehrsverbotes muss dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit entsprechen. Ein streckenbezogenes Verbot für (bestimmte) Dieselfahrzeuge geht seiner Eingriffsintensität nach nicht über straßenverkehrsrechtlich begründete Durchfahr- und Halteverbote hinaus, mit denen Autofahrer und Anwohner stets rechnen und die sie grundsätzlich hinnehmen müssen. Sondersituationen, insbesondere für Anwohner, ist durch Ausnahmeregelungen Rechnung zu tragen.

Im Urteil vom 27.02.2018 zu einem Verkehrsverbot (u. a.) für Dieselfahrzeuge in der Umweltzone Stuttgart äußert sich das Bundesverwaltungsgericht zur Verhältnismäßigkeit eines flächenhaften Verkehrsverbots:

1. Erweist sich ein Verkehrsverbot für Dieselfahrzeuge mit schlechterer Abgasnorm als Euro 6 sowie für Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren unterhalb der Abgasnorm Euro 3 innerhalb einer Umweltzone als die einzig geeignete Maßnahme zur schnellstmöglichen Einhaltung der Stickstoffdioxid-Grenzwerte, verlangt Art. 23 Abs. 1 Unterabs. 2 der Richtlinie 2008/50/EG, diese Maßnahme zu ergreifen.
2. Die Anordnung eines Verkehrsverbotes muss dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit entsprechen. Mithin ist ein Verkehrsverbot zeitlich gestaffelt nach dem Alter und Abgasverhalten der betroffenen Fahrzeuge und unter Einschluss von Ausnahmeregelungen einzuführen.

Mit diesen grundsätzlichen Aussagen sind die bisher im Hinblick auf ihre Verhältnismäßigkeit kritisch gesehenen Verkehrsverbote in Luftreinhalteplänen umsetzbar.

Nach dem höchstrichterlichen Urteil zur Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen hat die DUH gegen 11 weitere Städte (Dortmund, Bochum, Düren, Paderborn, Offenbach, Heilbronn, Ludwigsburg, Backnang, Esslingen, Marbach und Reutlingen) ge-

	Stadt	Verfahren	Beklagte	Gericht	NO <sub>2</sub> 2014	Urteil vom
1	Aachen	Verwaltungs-	Bezirksregierung Köln	VG Aachen	50 µg/m <sup>3</sup>	
2	Berlin	Verwaltungs-	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt	VG Berlin	62 µg/m <sup>3</sup> (2015: 50 µg/m <sup>3</sup> )	VG Berlin 04.01.2016 (11 K 132.15)
3	Bonn	Verwaltungs-	Bezirksregierung Köln	VG Köln	52 µg/m <sup>3</sup>	
4	Darmstadt	Verwaltungs-	Hessisches Ministerium für Umwelt	VG Wiesbaden	60 µg/m <sup>3</sup>	BVerwG Leipzig 05.09.2013 (4 K 165/12.WI(1)) VG Wiesbaden 11.01.2015 4 N 1726/15.WI(2) Hessischer VGH 11.05.2016 9 E 448/16
5	Düsseldorf	Verwaltungs-	Bezirksregierung Düsseldorf	VG Düsseldorf	60 µg/m <sup>3</sup>	VG Düsseldorf 13.09.2016 (3 K 7695/15)
6	Essen	Verwaltungs-	Bezirksregierung Düsseldorf	VG Gelsenkir- chen	55 µg/m <sup>3</sup>	
7	Frankfurt	Verwaltungs-	Hessisches Ministerium für Umwelt	VG Wiesbaden	55 µg/m <sup>3</sup>	
8	Gelsenkirchen	Verwaltungs-	Bezirksregierung Münster	VG Münster	51 µg/m <sup>3</sup>	
9	Hamburg	Verwaltungs-		VG Hamburg		VG Hamburg 05.11.2014 9 K 1280/13
10	Köln	Verwaltungs-	Bezirksregierung Köln	VG Köln	63 µg/m <sup>3</sup>	
11	Limburg	Vollstreckungs-	Hessisches Ministerium für Umwelt	VG Wiesbaden	63 µg/m <sup>3</sup>	VG Wiesbaden 30.06.2015 (4 K 97/15.WI(2))
12	Mainz	Verwaltungs-	Landeshauptstadt Mainz	VG Mainz	57 µg/m <sup>3</sup>	
13	München	Vollstreckungs-	Bay. Staatsministerium für Umwelt	Bay. VG Mün- chen	83 µg/m <sup>3</sup>	EuGH 25.07.2008 (M 1 K 12.1046) VG München 09.10.2012 (22 BV 12.2450) VG München 29.06.2016 (M 1 V 15.5203) Bayr. VGH 16.02.2017 22 C 16.1427
14	Offenbach	Verwaltungs-	Hessisches Ministerium für Umwelt	VG Wiesbaden	54 µg/m <sup>3</sup>	VG Wiesbaden 30.06.2015 (4 K 1178/13.WI(V))
15	Reutlingen	Vollstreckungs-	Regierungspräsidium Tübingen	VG Sigmaringen	71 µg/m <sup>3</sup>	VG Sigmaringen 22.10.2014 (1 K 154/12)
16	Stuttgart	Verwaltungs-	Regierungspräsidium Stuttgart	VG Stuttgart	89 µg/m <sup>3</sup>	
17	Wiesbaden	Verwaltungs-	Hessisches Ministerium für Umwelt	VG Wiesbaden	56 µg/m <sup>3</sup>	VG Wiesbaden 10.10.2011 (4 K 757/11.WI) VG Wiesbaden 11.01.2016 (4 N 1727/15.WI(2)) Hess. VGH 11.05.2016 9 E 450/16

Tab. 3-3: Übersicht über die von der DUH eingereichten Klagen

klagt<sup>35</sup>. Diese Städte wiesen 2016 einen Immissionskonzentrationswert von 50 µg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> oder mehr als Jahresmittelwert auf und überschritten damit den Grenzwert erheblich.

### Kommentar

Bisher haben die Klagen der DUH bewirkt, dass die betroffenen Verwaltungen veranlasst wurden, ihrer Verpflichtung, Luftreinhaltepläne, im Einzelfall auch Aktionspläne aufzustellen, nachgekommen sind. Damit wird aber das Problem, im Sinne der Luftreinhaltung effiziente Maßnahmen zu konzipieren und umzusetzen, noch nicht gelöst. Die bisher realisier-

<sup>35</sup> <https://www.presseportal.de/pm/22521/3904173>, abgerufen am 4.8.2018, 18 Uhr

ten Lösungen haben nicht bewirkt, dass die Immissionsgrenzwerte für NO<sub>2</sub> und teilweise auch für PM10 in allen Kommunen eingehalten werden. Offenkundig reichen die bisher umgesetzten Maßnahmen in vielen Fällen nicht aus. Damit bleibt die Aufgabe bestehen, Maßnahmen zu identifizieren, die die generelle Einhaltung der Grenzwerte erfüllbar machen.

Mit den höchstrichterlichen Urteilen des Bundesverwaltungsgerichts wurde nun der unbestimmte Rechtsbegriff der Verhältnismäßigkeit an zwei Beispielen konkretisiert: im Urteil zum Luftreinhalteplan Düsseldorf wird eine Sperrung von Einzelstrecken für bestimmte Fahrzeuge als Maßnahme des Luftreinhalteplans als verhältnismäßig und somit zulässig eingestuft und begründet. Im Urteil zum Luftreinhalteplan für Stuttgart wird die flächenhafte Sperrung einer Umweltzone für bestimmte Fahrzeuge in Kombination mit einem zeitlich gestuften Vorgehen als verhältnismäßig eingestuft. Das eröffnet den Städten neue Möglichkeiten, auch härtere Maßnahmenarten in Luftreinhalteplänen in Erwägung zu ziehen.

## 4 Marktanalyse

Im Rahmen von IVU Umwelt (2013a), DIEGMANN (2013) und FGSV (2014) wurden bereits erste Überichten über in Deutschland vorhandene bzw. geplante UVM erstellt. Zusätzlich wurde eine Literaturrecherche über weitere nationale bzw. englischsprachige internationale Veröffentlichungen zu Systemen durchgeführt, die sich als UVM bezeichnen lassen. Aus dieser Recherche wurde abgeleitet, welche Arten von UVM eingesetzt werden bzw. werden sollen und welche Akteure daran beteiligt sind. Soweit verfügbar wurden die Kosten für den Aufbau und Betrieb der bestehenden Systeme ausgewertet.

In Tabelle 4-1 sind weitere Systeme aufgeführt, die in Deutschland betrieben werden (Status laufend, L), sich in Planung befinden (Status geplant, P), untersucht (Status untersucht, U) oder abgeschlossen (Status nicht aktiv, N) wurden. Bei keinem der Projekte liegen Angaben zu den Kosten vor.

Tabelle 4-2 nennt Systeme, die international betrieben werden (Status laufend, L), sich in Planung befinden (Status geplant, P) oder abgeschlossen sind (Status nicht aktiv, N). Auch hier liegen bei keinem der Projekte Angaben zu den Kosten vor.

Stadt	Status	Art	Akteur
Berlin	L	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement in der Invalidenstraße. Details s. Anlage 1, Kapitel 2.1.	Stadt, Bundesland
Frankfurt/O.	L	Dynamische umweltgesteuerte Verkehrsumleitung, zwölfmonatiger Probebetrieb bis April 2017.	Stadt
Hagen	N	Prototyp zur dynamischen immissionsabhängigen Verkehrssteuerung zur dynamischen Sperrung des Märkischen Ring für den Lkw-Durchgangsverkehr. Inzwischen abgeschaltet. Details s. Anlage 1, Kapitel 2.9.1.	Stadt, Bundesland
Halle/Saale	L	Dynamisches T30 auf Merseburger Straße bei drohender PM10-Tagesgrenzwertüberschreitung.	Stadt, Bundesland
Jena	P	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Jena, Erstellung eines Gesamtkonzeptes.	Kommunalservice Jena Stadt
Köln	P	Umweltsensitive Verkehrssteuerung im Bereich des Hotspots Clevischer Ring. Details s. Anlage 1, Kapitel 2.9.2.	Stadt
München	P	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement	Stadt, Bundesland
Offenbach	U	Umweltorientierte Strategieentwicklung im dynamischen Verkehrsmanagement sowie Anwendung für das Fallbeispiel der Stadt Offenbach.	Stadt
Rostock	P	Dynamisches Verkehrsmanagementsystem. Das System befindet sich im Aufbau. Derzeit (Stand September 2016) wird das Zusammenspiel der einzelnen Module mit Realdaten getestet. Details s. Anlage 1, Kapitel 2.6.	Stadt, Bundesland
Weimar	P	Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Weimar, Erstellung eines Grobkonzeptes Details s. Anlage 1, Kapitel 2.5.	Stadt
Würzburg	U	Analyse der Wirkung einer temporär aktivierten Maßnahme am Beispiel des Hotspots Stadtring Süd.	Stadt

Status: laufend (L), geplant (P), untersucht (U), nicht aktiv (N)

Tab. 4-1: Weitere nationale UVM

Stadt (Land)	Status	Art	Akteur
Chester (UK)	L	InterCityAir - Real-time air quality monitoring and traffic management	Stadt, Konsortium
Helmond (NL)	L	Urban Freight Energy Efficiency Pilot (Helmond FREILOT)	Stadt, EU
Leicester (UK)	L	Integrated Traffic Management and Air Quality Control Using Space Services (ITRAQ)	Stadt, ESA, Konsortium
Leicester (UK)	P	Urban Traffic Management and Air Quality (uTRAQ), Nachfolger von iTRAQ	Stadt, ESA, Konsortium
Paris, Rom, Prag, Berlin, Rotterdam, Leicester	N	Healthier Environment through the Abatement of Vehicle Emissions and Noise (HEAVEN )	Städte, EU
Tirol, A12 (A)	N	Auf der A12 (Inntalautobahn) wurde von 2008 bis 2014 auf zwei Streckenabschnitten bei Vomp und Kundl eine VBA Umwelt betrieben, auf einem weiteren Abschnitt bei Imst kam sie von 2009 bis 2014 zum Einsatz. Details s. Anlage 1, Kapitel 2.8.2.	Konsortium

Status: laufend (L), geplant (P), nicht aktiv (N)

Tab. 4-2: Internationale UVM

## 5 Betriebserfahrungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Betriebserfahrungen von UVM auf einer generalisierten Basis auf der Grundlage der Daten der vier ausgewählten Untersuchungsgebiete Braunschweig, Erfurt, Potsdam und Lutherstadt Wittenberg ermittelt (siehe hierzu auch Anlage 2). Den Einstieg dazu lieferte eine Befragung der Betreiber und der Auftraggeber der jeweiligen UVM. Dabei sollten

- der Umfang der Investitionen (Hardware, Software),
- die Kosten des Betriebs (Personal, Re-Investitionen),
- die Wirksamkeit des UVM,
- die Akzeptanz der UVM-Maßnahmen,
- eine Einschätzung zum Synergiepotential bei Kopplung des Verkehrsmanagements (VM) mit UVM sowie
- Probleme beim Zusammenwirken VM mit UVM abgefragt werden.

Es wurde dazu am 29.11.2016 ein Internetfragebogen mit 29 Fragen ins Netz gestellt und die Betreiber der UVM-Systeme der ausgewählten UVM-Städte wurden anschließend angeschrieben. Im Abstand von ca. 1 Woche fand jeweils ein vertiefendes Telefongespräch mit Betreibern und Auftraggebern statt. Die Befragungsergebnisse wurden nachfolgend dokumentiert und systematisch zusammengefasst. Sie dienen als Unterlage für die in Kapitel 7

durchgeführte Bewertungen auf gesamtwirtschaftlicher Grundlage.

Der Fragenkatalog war in

- Teil 1: Allgemeine Fragen,
- Teil 2: Investitions- und Betriebskosten,
- Teil 3: Wirksamkeit des UVM,
- Teil 4: Akzeptanz der UVM-Maßnahmen,
- Teil 5: Einschätzung zum Synergiepotential bei Kopplung UVM + VM und
- Teil 6: Probleme beim Zusammenwirken von UVM und VM

gegliedert. Einzelheiten der Ergebnisse der Befragung sind aus dem Anhang „Ergebnisse der Befragung zum Betrieb von UVM-Systemen“ der Anlage 2 zu entnehmen.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die UVM-Systeme wurden kommunal beauftragt, jedoch meist in Abstimmung mit dem Bundesland.
2. Zeitlich war von der ersten Befassung bis zur Inbetriebnahme ein Zeitraum von bis zu 4 Jahren erforderlich. Der Realisierungszeitraum ist jedoch maßgebend vom Umfang und den jeweiligen technischen Voraussetzungen sowie den gewählten Strategien abhängig.
3. Wie lange ein UVM-System in Betrieb sein wird, wird in Abhängigkeit der Höhe der Grenzwert-

überschreitung, der bisherigen zeitlichen Entwicklung der Immissionskonzentrationen und geplanter anderer Maßnahmen unterschiedlich eingeschätzt. Die eingeschätzte Mindestlaufzeit liegt zwischen 5 und 10 Jahren.

4. Der Betrieb des UVM-Systems (Kontrolle der Funktionsfähigkeit des UVM-Systems) erfolgt weitgehend mit städtischem Personal. Wartung und Reparatur werden meist extern vergeben. Der Aufwand für die Systempflege ist Teil der Wartung.
5. Bei den Investitionen muss zwischen Vorphase, Einrichtung und Betrieb sowie zwischen einfachen und aufwendigen Lösungen unterschieden werden (Angaben in 1000 €):

	Einfache Lösung	Aufwendige Lösung
Vorphase	50 -100	50-100
Planung und Realisierung	< 50	> 100
Betrieb	< 30/a	> 30/a

6. In den vorliegenden Ausprägungen erreichen die UVM-Systeme eine Reduktion der hohen Immissionskonzentrationen von PM10 und NO<sub>2</sub>. Die Wirkung reicht aber bei NO<sub>2</sub> häufig allein nicht aus, um die Grenzwerte einzuhalten.
7. Zu den modalen Auswirkungen (Verlagerung von Fahrten auf den Umweltverbund) von UVM-Systemen liegen keine Untersuchungen vor.
8. Verkehrsumleitungsmaßnahmen (Lkw) bedürfen, um wirksam zu sein, ausreichender Kontrollen.
9. Eine Evaluierung der UVM-Systeme beschränkte sich bisher auf die direkten Wirkungen (Immissionskonzentrationsminderung, verkehrliche Wirkungen, Kosten). Gesamtwirtschaftliche Aussagen fehlen weitgehend.
10. Ein UVM-System hat positive Wirkungen auf die Minderung der Lärmsituation, die Reduktion von Lärmimmissionen stand bei der Einrichtung der UVM-Systeme nicht im Vordergrund, obwohl an den Hotspots meist auch die Zielwerte für Lärmimmissionen überschritten werden.
11. Akzeptanzuntersuchungen von UVM-Maßnahmen sind bisher nicht durchgeführt worden. Aus Presse- und Leserzuschriften lässt sich schließen, dass Maßnahmen der Verkehrsverflüssi-

gung gegenüber Umleitungsmaßnahmen und gegenüber einer „Zuflussdosierung“ an den Stadteingängen eine höhere Akzeptanz erzielen.

12. Synergien ergeben sich, wenn ein VM-System bereits vorhanden ist und vorhandene Einrichtungen von VM- und UVM-Systemen gemeinsam genutzt werden können. Bisher sind Synergiepotentiale noch nicht quantifiziert worden.
13. Es gibt in der betrieblichen Praxis nur wenig Konfliktpotenzial zwischen UVM- und VM-Systemen, weitgehend auch der Tatsache geschuldet, dass sich das gleiche Betriebspersonal um beide Systeme kümmert.

## 6 Zusammenstellung der Maßnahmenwirkungen

In diesem Kapitel werden die in den betrachteten UVM hinterlegten Maßnahmen getrennt für die ausgewählten Untersuchungsgebiete bzgl. deren Wirkungen systematisiert, die in den ausgewählten UG durch Messungen und Simulationen ermittelt wurden. Dies erfolgt differenziert nach den folgenden Merkmalen:

Verkehr:

- Klein und großräumige Verkehrsverlagerungen (räumlich und zeitlich),
- Veränderung im Verkehrsfluss (LOS),
- Reisezeiten und
- Verkehrssicherheit

Umwelt:

- Veränderung der Luftschadstoffbelastung (NO<sub>2</sub>- und PM10-Immissionen),
- Veränderung der Lärmemissionen und
- Veränderung der Kraftstoffverbräuche bzw. der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Neben den direkten Auswirkungen auf die beeinflussten Bereiche werden auch mögliche negative Auswirkungen auf andere Netzbereiche wie z. B. mögliche Ausweichstrecken betrachtet und bewertet.

## 6.1 Braunschweig „Altewiekring“

Die UVM-Maßnahme „Altewiekring“ wurde im Rahmen der Planung zunächst mittels einer Mikrosimulation des Verkehrsablaufs und anschließend in einem mehrwöchigen Feldversuch auf ihre verkehrlichen und umweltrelevanten Wirkungen hin überprüft.

Der Feldversuch fand im Zeitraum Juni / Juli 2015 statt, wobei an den Normalwerktagen (Mo – Fr) die UVM-Maßnahme im Wechsel immer entweder vor-

mittags (07:00 – 10:00 Uhr) oder nachmittags (15:00-19:00 Uhr) aktiviert wurde. Eine Information der Verkehrsteilnehmer über die konkreten Schalttage und -zeiten fand bewusst nicht statt.

Der mit der UVM-Maßnahme „Altewiekring“ beeinflusste Bereich ist mit seinen betroffenen Knotenpunkten in Bild 2-15 in der Übersicht dargestellt. Aufgrund einer umfangreichen Baumaßnahme am nördlichen Knoten K047 musste im Feldtest auf die dort geplante Zuflussdosierung verzichtet werden.

Zeitbereich Juni 2015	Nullfall / UVM	Mittlere Verkehrsstärke (Kfz/h)	Anteil LOS 3 +4 (%)
Mo – Fr 07 – 10 Uhr	Nullfall	2.032	62,3
	UVM	2.035	25,9
	Veränderung	+0,1%	-58,4%
Mo – Fr 15 – 19 Uhr	Nullfall	2.279	97,0
	UVM	2.279	43,4
	Veränderung	+0,0%	-55,3%
Mo – Fr 07 – 10 und 15 – 19 Uhr	Nullfall	2.178	82,8
	UVM	2.179	36,2
	Veränderung	+0,0%	-56,3%

Tab. 6-1: UVM-Braunschweig „Altewiekring“ – Übersicht Wirkungen Teil 1

Zeitbereich Juni 2015	Nullfall / UVM	Mittlere Fahrzeit Nord -> Süd (s)	Mittlere Fahrzeit Süd -> Nord* (s)
Mo – Fr 07 – 10 Uhr	Nullfall	248	274
	UVM	215	233
	Veränderung	-13,3%	-15,5%
Mo – Fr 15 – 19 Uhr	Nullfall	261	209
	UVM	246	262
	Veränderung	-5,7%	+25,4%
Mo – Fr 07 – 10 und 15 – 19 Uhr	Nullfall	255	237
	UVM	233	250
	Veränderung	-8,6%	+5,5%

\* Aufgrund von häufigen, baustellenbedingten Rückstaus vom Knoten K047 in den Untersuchungsbereich, sind die ermittelten Fahrzeiten insbesondere in den Nachmittagsstunden nur bedingt aussagekräftig.

Tab. 6-2: UVM-Braunschweig „Altewiekring“ – Übersicht Wirkungen Teil 2

Zeitbereich	Nullfall / UVM	Emission NO <sub>2</sub> (g/(m <sup>3</sup> h))	Emission PM10 (g/(m <sup>3</sup> h))	Emission CO <sub>2</sub> (g/(m <sup>3</sup> h))	Immission NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Mo – Fr 07 – 10 Uhr	Nullfall	209,3	119,6	378,6	34,0
	UVM	182,3	106,2	344,8	32,2
	Veränderung	-12,9%	-11,2%	-8,9%	-5,3%
Mo – Fr 15 – 19 Uhr	Nullfall	292,6	135,8	506,2	59,6
	UVM	216,1	110,8	381,4	47,9
	Veränderung	-26,2%	-18,4%	-24,7%	-19,7%
Mo – Fr 07 – 10 und 15 – 19 Uhr	Nullfall	260,9	129,6	457,6	49,9
	UVM	202,0	108,9	366,1	41,4
	Veränderung	-22,6%	-16,0%	-20,0%	-17,1%

Tab. 6-3: UVM-Braunschweig „Altewiekring“ – Übersicht Wirkungen Teil 3

### 6.1.1 Zusammenfassung der Wirkungen

Tabelle 6-1 bis Tabelle 6-3 zeigen zusammenfassend die im Feldversuch nachgewiesenen Wirkungen der UVM-Maßnahme „Altewiekring“ hinsichtlich der Verkehrsstärken und der Zeitanteile des Level of Service (Verkehrsfluss) am Hotspot (Querschnitt), der Fahrzeiten im beeinflussten Streckenabschnitt sowie der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>) und Immissionen (NO<sub>2</sub>) am Hotspot (Querschnitt).

### 6.1.2 Diskussion der Wirkungen

#### Verkehrsverlagerungen

Ein Ziel bei der Entwicklung der UVM-Maßnahme „Altewiekring“ war es, Verlagerungseffekte ins benachbarte Straßennetz möglichst zu vermeiden, weshalb auch bewusst auf eine Information der Verkehrsteilnehmer über die konkreten Schaltzeiten der UVM-Maßnahme verzichtet wurde.

Die im Rahmen der Planung durchgeführten Modellrechnungen ließen für die Spitzenstunden im Querschnitt eine maximale Verlagerung von ca. 60 Kfz/h ins benachbarte Streckennetz erwarten, was etwa 2,5 % der Gesamtbelastung in der Spitzenstunde entspricht.

Im Feldtest konnte über die am Hotspot sowie im weiteren Streckenverlauf vorhandene Detektion nachgewiesen werden, dass die gemessenen Verkehrsstärken für die untersuchten Zeiträume, Zeitbereiche und Fahrtrichtungen durchgehend nur geringe Abweichungen (meist kleiner  $\pm 3$  %) zwischen geschalteter und nicht geschalteter UVM-Maßnahme auswies. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Schaltung der UVM-Maßnahme und Änderung der Verkehrsstärke konnte nicht nachgewiesen werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass das Ziel einer Vermeidung von Verkehrsverlagerungen mit der umgesetzten UVM-Maßnahme erreicht wird.

#### Veränderungen im Verkehrsfluss

Veränderungen im Verkehrsfluss ließen sich mit der vorhandenen Detektion, den durchgeführten Messfahrten sowie einer begleitend durchgeführten Videoerhebung indirekt über lokale Geschwindigkeiten, Anzahl Halte und Rückstaulängen nachweisen.

Die Auswertung der mittleren lokalen Geschwindigkeiten ergab auf Höhe des Messcontainers für alle Zeiträume, Zeitbereiche und Fahrtrichtungen einen

Anstieg der gemessenen mittleren Geschwindigkeiten zwischen 3 und 13 km/h bei aktivierter UVM-Maßnahme. Gleichzeitig wiesen die Messwerte mit UVM-Maßnahme im Regelfall eine deutlich geringere Streuung auf. Am südlichen Ende des Maßnahmenbereichs konnten Geschwindigkeitssteigerungen zwischen 0 und 5 km/h nachgewiesen werden. Am nördlichen Ende stand keine valide Geschwindigkeitsdetektion zur Verfügung.

Für den Knotenpunkt K074 in Richtung Süd und den Knotenpunkt K009 in Richtung Nord wurde eine Videoerhebung durchgeführt und bzgl. Anzahl Halte und Rückstaulängen ausgewertet. Während ohne UVM-Maßnahme je Umlauf zum Ende der Rotphase im Durchschnitt 9 bis 11 Kfz (Richtung Süd) bzw. 9 bis 20 Kfz (Richtung Nord) an der Halteinie standen, betrug die entsprechenden Zahlen mit UVM-Maßnahme lediglich 2 bis 5 Kfz (Richtung Süd) bzw. 5 bis 8 Kfz (Richtung Nord).

Eine deutliche Reduzierung der Anzahl Halte innerhalb des Beeinflussungsbereichs konnte auch über Messfahrten nachgewiesen werden. Im Gegenzug kam es aber durch die Zuflussdosierung am Rand des Streckenzugs zu zusätzlichen Halten.

#### Veränderungen von Fahrzeiten

Zur Ermittlung von Fahrzeitveränderungen wurden begleitend zum Feldtest Messfahrten mit GPS-Aufzeichnung durchgeführt. Bei geschalteter UVM-Maßnahme konnten im beeinflussten Streckenabschnitt deutliche Verringerungen in der Fahrzeit nachgewiesen werden. Außerdem wurde durch die UVM-Maßnahme die Streuung zwischen den gemessenen Einzelfahrzeiten gegenüber dem Nullfall reduziert.

In Nord-Süd-Richtung wurden die mittleren Fahrzeiten durch die UVM-Maßnahme in den untersuchten Zeiträumen und Zeitbereichen um 16s bis 95s verringert, was einer Reduzierung um 6% bis 25% entspricht. Ohne die im Feldtestzeitraum vorhandene Baumaßnahme am nördlichen Ende des Streckenzuges müsste jedoch dort eine Zuflussdosierung stattfinden, wodurch voraussichtlich ein Großteil der Fahrzeitgewinne aufgezehrt würde.

In der Gegenrichtung konnten insbesondere im Vormittagsbereich deutliche Fahrzeitgewinne (41 s bis 100 s bzw. 15 % bis 31 %) im gesamten beeinflussten Streckenabschnitt erzielt werden. Im Gegenzug kam es jedoch am südlichen Knoten K028 durch die Zuflussdosierung zu zusätzlichen Wartezeiten in

ähnlicher Größenordnung. Im Nachmittagsbereich blieben die mittleren Fahrzeiten im beeinflussten Streckenabschnitt mit UVM-Maßnahme insgesamt nahezu gleich bzw. verschlechterten sich in einem Fall sogar deutlich, wobei hier der Einfluss der baustellenbedingten Rückstaus am nördlichen Knoten K047 nicht eindeutig quantifiziert werden konnte. Im lufthygienisch besonders kritischen Bereich zwischen den Knoten K022 und K009 konnte allerdings dennoch eine Fahrzeitverkürzung um 10 % bis 15 % gemessen werden. Auch hier traten zusätzliche Wartezeiten am K028 auf.

### **Veränderung der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>)**

Für die verkehrsbedingten Emissionen für NO<sub>2</sub>, PM10 und CO<sub>2</sub> wurden für den betreffenden Abschnitt im Altewiekring (Hotspot) Reduktionen durch eine Maßnahmenaktivierung am Vormittag zwischen 7 und 10 Uhr zwischen 9 % und 13 % ermittelt. Am Nachmittag zwischen 15 und 19 Uhr wurden deutlich höhere Minderungen mit 18 % bis 26 % ermittelt (siehe Tabelle 6-3). Gemittelt über den gesamten Zeitraum an dem die Maßnahmen aktiviert wurden ergeben sich durchschnittliche Emissionsminderungen für NO<sub>2</sub> in Höhe von 22,6 %, für PM10 in Höhe von 16 % und für die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 20 %.

Überträgt man diese Minderungswirkungen auf eine ganzjährige Anwendung unter Berücksichtigung einer Maßnahmenaktivierung bei einem Schwellenwert der stündlichen NO<sub>2</sub>-Belastung von 80 µg/m<sup>3</sup> so geht die NO<sub>2</sub>-Emission um 0,8 %, die PM10-Emission um 0,7 % und die CO<sub>2</sub>-Emission um 0,1 % zurück. Bei einem ambitionierten Schwellenwert in Höhe von 60 µg/m<sup>3</sup> beträgt der Rückgang bei NO<sub>2</sub> und PM10 1,7 % und bei CO<sub>2</sub> 0,2 %.

Bezogen auf den gesamten Wirkungsraum der Maßnahme verändern sich die Emissionen bei einer ganzjährigen Aktivierung unter Berücksichtigung eines NO<sub>2</sub>-Schwellenwerts in Höhe von 80 µg/m<sup>3</sup> bei NO<sub>2</sub> und PM10 um -0,2 % und bei CO<sub>2</sub>-Emission um +0,1 %. Mit einem Schwellenwert 60 µg/m<sup>3</sup> beträgt die Änderung bei NO<sub>2</sub> -0,6 %, bei PM10 -0,5 % und bei CO<sub>2</sub>-Emission um -0,4 %.

### **Veränderung der Lärmemissionen**

Die UVM-Maßnahme „Altewiekring“ hat insgesamt keinen Einfluss auf den DTV. Daher können rechnerisch keine Auswirkungen auf die Lärmemissionen bestimmt werden.

Die Maßnahmen tragen jedoch zu einer Verstärkung des Verkehrsflusses im umweltsensiblen Bereich bei. Hierdurch ist ein nicht quantifizierbarer Beitrag zur Lärminderung durch die Reduzierung der Beschleunigungsvorgänge zu verzeichnen.

### **Veränderung der Verkehrssicherheit**

An den meisten Knotenpunkten wurden im Zuge der UVM-Maßnahme lediglich Grünzeiten angepasst und Versatzeiten optimiert, was im Normalfall keine Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit haben dürfte. Einzig am Knoten K009 wird bei geschalteter UVM-Maßnahme auch das Phasenkonzept angepasst, wobei die Nebenrichtungen dann in einer statt ansonsten in zwei Phasen abgewickelt werden. Dies war allerdings auch in der Vergangenheit langjährige Praxis an diesem Knotenpunkt, ohne dass es dadurch aus Sicht der Verkehrssicherheit zu besonderen Problemen gekommen wäre.

Spezielle Untersuchungen zur Verkehrssicherheit wurden im UVM Braunschweig nicht durchgeführt, so dass hier keine belastbaren Aussagen zu etwaigen Wirkungen getroffen werden können.

### **Veränderung der Immissionen (NO<sub>2</sub>)**

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung am betreffenden Abschnitt im Altewiekring geht durch eine Maßnahmenaktivierung am Vormittag zwischen 7 und 10 Uhr um 5 % und am Nachmittag zwischen 15 und 19 Uhr 20 % zurück. (siehe Tabelle 6-3). Gemittelt über den gesamten Zeitraum an dem die Maßnahmen aktiviert wurden, ergibt sich eine NO<sub>2</sub>-Minderung in Höhe von 17 %.

Überträgt man diese Minderungswirkungen auf eine ganzjährige Anwendung unter Berücksichtigung einer Maßnahmenaktivierung bei einem Schwellenwert der stündlichen NO<sub>2</sub>-Belastung von 80 µg/m<sup>3</sup> so wird der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert um 1,1 % und bei einem ambitionierten Schwellenwert in Höhe von 60 µg/m<sup>3</sup> um 2,3 % zurück.

Bezogen auf den gesamten Wirkungsraum der Maßnahme wird im gesamten Streckenabschnitt mit einer Länge von ca. 2,6 km eine Minderung der NO<sub>2</sub>-Immission bis zu 2,5 % bei einem Schwellenwert von 80 µg/m<sup>3</sup> bzw. 3,7 % bei einem Schwellenwert von 60 µg/m<sup>3</sup> oder eine gleichbeliebende Belastung berechnet. Nur im nördlichen Bereich zwischen Rebenring und Zimmerstraße wird auf einer Länge von ca. 230 m eine Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Immission um max. 0,6 % bei einem Schwellenwert von 80 µg/m<sup>3</sup> beobachtet.

lenwert von  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und 1 % bei einem Schwellenwert von  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt.

## 6.2 Braunschweig „Hildesheimer Straße“

Die UVM-Maßnahme „Hildesheimer Straße“ wurde bislang ausschließlich mittels Modellrechnungen im Rahmen eines Forschungsprojektes betrachtet. Da es aber in den untersuchten Städten die einzige Maßnahme ist, die auf eine großräumige Verlagerung von Verkehren setzt, soll sie an dieser Stelle dennoch bzgl. ihrer zu erwartenden Wirkungen diskutiert werden.

Die Maßnahme ist in Kapitel 2.1.4 näher beschrieben. Sie wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Braunschweig – Stufe 2“ (WVI, 2012) konzipiert und dort mittels Modellrechnungen in verschiedenen Szenarien bzgl. der zu erwartenden Wirkungen analysiert.

Hier betrachtet wird die Variante 2a, die im Forschungsprojekt als die „beste“ identifiziert wurde. Bei dieser Variante wird der stadteinwärts fahrende Kfz-Verkehr mittels angepasster Lichtsignalsteuerungen teilweise zu einer großräumigen Umfahrung des Hotspots veranlasst. Diese führt über die Stadtautobahn A391 und dann im Wesentlichen weiter über die Celler Straße und Hamburger Straße Richtung Zentrum (vgl. Bild 2-17). Mit einer entsprechend hohen Eingriffsschwere können voraussichtlich bis zu 28 % des werktäglich einströmenden Verkehrs auf die gewünschten Ausweichrouten verlagert werden.

### 6.2.1 Zusammenfassung der Wirkungen

Tabelle 6-4 und Tabelle 6-5 zeigen zusammenfassend die in den stundenscharfen Modellen errechneten Wirkungen der UVM-Maßnahme „Hildesheimer Straße“ hinsichtlich der Verkehrsstärken und Immissionen ( $\text{NO}_2$ ) sowohl am Hotspot als auch auf den wichtigsten Ausweichstrecken.

### 6.2.2 Diskussion der Wirkungen

#### Verkehrsverlagerungen

Insbesondere für einströmende Verkehrsteilnehmer mit Zielen im nördlichen Zentrumsbereich sind

Betrachtungsraum	Nullfall / UVM	Mittlere Verkehrsstärke am Querschnitt (Kfz/ 24h)	Veränderung gegenüber Nullfall (%)
Hotspot	Nullfall	26.880	-
	UVM	23.040	-14,3
Celler Straße	Nullfall	24.000	-
	UVM	25.380	+5,8
Hamburger Straße	Nullfall	34.100	-
	UVM	35.100	+2,9

Tab. 6-4: UVM-Braunschweig „Hildesheimer Straße“ – Übersicht Wirkungen Teil 1

Betrachtungsraum	Fall	$\text{NO}_2$ -Immission ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Veränderung gegenüber Nullfall (%)
Hotspot Hildesheimer Straße	Nullfall	41,6	
	Maßnahme dauerhaft	37,6	-9,7 %
	UVM 80	40,6	-2,5 %
	UVM 60	39,6	-4,8 %
Celler Straße	Nullfall	21,5	
	Maßnahme dauerhaft	21,7	0,8 %
	UVM 80	21,57	0,1 %
	UVM 60	21,60	0,3 %
Hamburger Straße	Nullfall	24,1	
	Maßnahme dauerhaft	24,5	1,6 %
	UVM 80	24,2	0,3 %
	UVM 60	24,3	0,6 %

Tab. 6-5: UVM-Braunschweig „Hildesheimer Straße“ – Übersicht Wirkungen Teil 2

die zu erwartenden Fahrzeiten auf den drei Alternativrouten Hildesheimer Straße / Neustadtring, A391 / Celler Straße und A391 / Hamburger Straße ähnlich, so dass eine Veränderung der Widerstände an den Knotenpunkten der Hildesheimer Straße durchaus zu nennenswerten Verlagerungen zwischen diesen Routen führen kann. Im geringeren Umfang trifft das auch für Verkehre mit Zielen im westlichen Zentrumsbereich zu, wo eine Ausweichroute über A391 und Münchenstraße als Alternative zur Verfügung steht. Alle drei Ausweichrouten sind zwar auch im Nullfall gut ausgelastet, bieten in Summe aber ausreichend Reserve für die mit der UVM-Maßnahme bewirkten Verkehrsverlagerungen.

Die in der Modellrechnung erzielte Entlastung der Hildesheimer Straße um maximal 3.840 Kfz / 24h

(bei dauerhafter Aktivierung der Maßnahme) erscheint somit auch in der Praxis realisierbar<sup>36</sup>.

### Veränderungen im Verkehrsfluss

Im Nullfall können die den Hotspot stadteinwärts durchfahrenden Kfz an der anschließenden LSA Rudolfplatz regelmäßig nicht vollständig abfließen, so dass es dort zu Rückstaus in dem Hotspotbereich kommt. Über die mit der Maßnahme realisierten Änderungen in der Lichtsignalsteuerung wird die stadteinwärts in den Hotspot einfahrende Verkehrsmenge begrenzt, so dass die Kfz bei entsprechender Koordination nahezu ohne Halt über den Rudolfplatz abfließen könnten. Es ist daher mit einer deutlichen Verbesserung des Verkehrsflusses zu rechnen.

Stadtauswärts können die über den Rudolfplatz in den Hotspot einfahrenden Kfz in der Regel sowohl im Nullfall als auch mit UVM ohne Halt den Hotspot durchqueren, so dass hier in beiden Fällen ein guter Verkehrsfluss gegeben ist.

Das Maß der Verbesserung im Verkehrsfluss lässt sich aus den vorliegenden Modellrechnungen nicht quantifizieren.

### Veränderungen von Fahrzeiten

Durch die Drosselung Richtung Hotspotbereich erhöht sich die Fahrzeit für die Kfz, die weiterhin über die Hildesheimer Straße Richtung Zentrum fahren. Dadurch werden die genutzten Ausweichrouten, die im Nullfall eine etwas höhere Fahrzeit haben, für einen Teil der einströmenden Verkehrsteilnehmer attraktiv. Insgesamt wird bei der untersuchten Maßnahme die Verbesserung im Hotspotbereich durch gestiegene Fahrzeiten und eine höhere Verkehrsleistung für den stadteinwärts fahrenden Kfz-Verkehr erkauft.

Detaillierte Informationen zu den zu erwartenden Fahrzeitveränderungen liegen aus dem Forschungsprojekt nicht vor.

### Veränderung der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>)

Kfz-Emissionen wurden in dem Forschungsprojekt nicht betrachtet.

### Veränderung der Lärmemissionen

Lärmemissionen wurden in dem Forschungsprojekt nicht betrachtet.

### Veränderung der Verkehrssicherheit

Aspekte der Verkehrssicherheit wurden in dem Forschungsprojekt nicht betrachtet.

### Veränderung der Immissionen (NO<sub>2</sub>)

Die Wirkungen der Maßnahmen auf den Hotspot sowie auf ausgewählte Abschnitte auf der Ausweichroute ist in Tabelle 6-5 aufgelistet. Der Auswertzeitraum beträgt dabei zwei repräsentative Monate aus dem Monitoringbetrieb. Unter der Annahme, dass die Maßnahme dauerhaft geschaltet werden würde, würde am Hotspot die NO<sub>2</sub>-Belastung von 41,6 µg/m<sup>3</sup> auf 37,6 µg/m<sup>3</sup> und damit um 9,7 % zurückgehen. Aufgrund des entstehenden Ausweichverkehrs würde an den potenziell höchst belasteten Abschnitten auf den Ausweichrouten die NO<sub>2</sub>-Belastung um 0,2 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0,8% auf der Celler Straße und um 0,4 µg/m<sup>3</sup> bzw. 1,6 % auf der Hamburger Straße steigen. Eine Aktivierung der Maßnahmen bei Überschreiten eines NO<sub>2</sub>-Schwellenwerts von 80 µg/m<sup>3</sup> oder 60 µg/m<sup>3</sup> reduziert die NO<sub>2</sub>-Minderung auf 1 bzw. 2 µg/m<sup>3</sup> was einer relativen Reduktion von 2,5 % bzw. 4,8 % entspricht. Die Erhöhung der NO<sub>2</sub>-Immission bei dieser umweltsensitiven Aktivierung auf den Ausweichrouten geht in der Celler Straße auf rund 0,1 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0,1 % und 0,3 % je nach Auslöseschwelle zurück. In der Hamburger Straße erhöht sich die NO<sub>2</sub>-Immission bei einem Schwellenwert von 80 µg/m<sup>3</sup> um 0,1 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0,3 % und bei einem Schwellenwert von 60 µg/m<sup>3</sup> um 0,2 µg/m<sup>3</sup> bzw. 0,6 %.

## 6.3 Erfurt

### 6.3.1 Zusammenfassung der Wirkungen

Tabelle 66 zeigt zusammenfassend die Wirkungen der UVM-Maßnahmen in den Straßenzügen Talstraße / Bergstraße (Pilot I) und Leipziger Straße (Pilot II) hinsichtlich der Veränderungen der Zeitannteile des Level of Service (Verkehrsfluss) und der Fahrzeiten sowie der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>, Lärm) und Immissionen (NO<sub>2</sub>).

Das Szenario S0 stellt dabei das Ausgangs- und Bezugsszenario dar, die Szenarien S1S3 sind Maßnahmenzenarien. Sie wurden berechnet und im Pilotbetrieb getestet. Die beiden grün markierten Szenarien S2 Talstraße / Bergstraße bzw. S1 Leipziger Straße wurden in den Regelbetrieb überführt.

Für die Kosten- und Wirkungsanalyse in Kapitel 7 wurden die Daten der beiden Straßenzüge Talstraße /

<sup>36</sup> Anmerkung: Inzwischen haben sich die Verkehrssituationen auf der Hildesheimer Straße und auf den Alternativrouten gegenüber dem Untersuchungsjahr 2011 deutlich verändert, so dass die Maßnahme heute in dieser Form nicht mehr direkt umsetzbar wäre.

Wirkungen auf Zeitanteile des Level of Service nach Szenarien [%]						
Straßenzug	Talstraße / Bergstraße (Pilot I)				Leipziger Straße (Pilot II)	
	S0	S1	S2	S3	S0	S1
1: flüssig	60,0 %	84,3 %	94,9 %	98,0 %	10,3 %	57,9 %
2: dicht	24,0 %	7,1 %	4,0 %	1,7 %	39,6 %	33,2 %
3: gesättigt	12,0 %	7,0 %	0,7 %	0,2 %	25,3 %	5,5 %
4: stop+go	4,0 %	1,6 %	0,4 %	0,1 %	24,8 %	3,4 %
Summe	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Wirkungen auf Fahrzeiten nach Szenarien [s]		
Straßenzug	Leipziger Straße (Pilot II)	
	S0	S1
Lage bezogen auf Zuflussdosierungsquerschnitt		
Abschnitt A1: stromaufwärts	186	229
Abschnitt A2: stromabwärts	155	135
Summe (Gesamtstrecke A1+A2)	341	364

Wirkungen auf Emissionen und Immissionen nach Szenarien [%]						
Straßenzug	Komponente	Talstraße / Bergstraße (Pilot I)			Leipziger Straße (Pilot II)	
		S1/S0	S2/S0	S3/S0	S1/S0	
	NO <sub>2</sub> -Emissionen	-8,8 %	-12,4 %	-22,1 %	-22,1 %	
	PM10-Emissionen	-13,9 %	-19,1 %	-28,7 %	-26,8 %	
	CO <sub>2</sub> -Emissionen	-7,6 %	-10,6 %	-20,2 %	-21,1 %	
	NO <sub>2</sub> -Immissionen	-2,4 %	-3,9 %	-7,9 %	-7,2 %	

Tab. 6-6: UVM-Erfurt – Übersicht Wirkungen

Bergstraße (Pilot I) und Leipziger Straße (Pilot II) zusammengefasst und die genannten Szenarien der zugrunde liegenden Pilotuntersuchungen den dort analysierten Null- und Planfällen wie folgt zugeordnet:

- Nullfall ohne UVM:  
Szenario S0 (Talstraße / Bergstraße) + Szenario S0 (Leipziger Straße),
- Planfall 1 mit UVM (Referenzfall):  
Szenario S2 (Talstraße / Bergstraße) + Szenario S1 (Leipziger Straße) und
- Planfall 2 mit UVM (Optimierter Fall):  
wie Planfall 2, jedoch mit häufigerer Aktivierung und größerer Eingriffsschwere.

### 6.3.2 Diskussion der Wirkungen

#### Verkehrsverlagerungen

Parallel zur Aktivierung der Pilotmaßnahmen erfolgte ein kontinuierliches Monitoring der Verkehrsstärken auf möglichen Alternativrouten. Für die Talstraße / Bergstraße als Teil des Stadtrings sind die Alternativen ohnehin begrenzt. Für die Leipziger Straße als radiale Hauptverkehrsstraße kommen Alternativrouten über die benachbarten radialen Hauptverkehrsstraßen (insbesondere die Weimarer Straße) in Frage. Eine räumliche Verlagerung von

Verkehren auf Alternativrouten trat nicht auf (nur minimale Fahrzeitverlängerungen durch die Zuflussdosierung – s. u.). Nachgewiesen werden konnte eine leichte zeitliche Streckung der Morgenspitze (06:30–08:30 Uhr) auf der Leipziger Straße in stadteinwärtiger Fahrtrichtung durch die Zuflussdosierung, die aufgrund der Verkehrsnachfrage insbesondere in diesem Zeitraum ihre Wirkung entfaltet.

#### Veränderungen von Fahrzeiten

Zur Ermittlung von Fahrzeitveränderungen erfolgten in der Leipziger Straße für beide untersuchte Szenarien insgesamt weit über 200 Messfahrten. Hierbei wurden Floating-Car-Daten in Sekundenintervallen aufgezeichnet. Die Fahrzeitauswertung ergab mit aktivierter Zuflussdosierung durch die Rückstauverlagerung stromaufwärts eine Fahrzeitverlängerung von 186 s auf 229 s und stromabwärts durch den flüssigeren stetigen Verkehrsablauf eine Fahrzeitverkürzung von 155 s auf 135 s. Die für die 3.400 m lange Gesamtstrecke resultierende Fahrzeitverlängerung um 7 % bzw. 23 s ist unbedeutend und hatte keine Auswirkungen auf räumliche Verkehrsverlagerungen (vgl. oben). Das Ziel, Stauercheinungen aus den umweltsensiblen Bereichen in weniger sensible gut durchlüftete Bereiche zu verlagern, konnte ohne eine nennenswerte Erhöhung der Gesamtfahrzeit erreicht werden.

### Veränderungen im Verkehrsfluss (Zeitanteile des LOS)

In der Bergstraße konnte das bereits sehr gute Ausgangsniveau verbessert werden. Der Anteil LOS 3+4 (gesättigter Verkehr, stop+go-Verkehr) wurde von 16,0 % (Szenario S0) durch die optimierte Koordinierung auf 1,1 % (Szenario S2) reduziert. Auch in der Leipziger Straße konnte das Ausgangsniveau verbessert werden. Der Anteil LOS 3+4 wurde von 50,1 % (Szenario S0) auf 8,9 % (Szenario S1) reduziert. Damit wurde in beiden Bereichen eine Verstetigung des Verkehrsflusses auf ein sehr hohes zufriedenstellendes Niveau erreicht.

### Veränderung der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>)

Bei den verkehrlichen Emissionen, die für NO<sub>2</sub>, PM10 und CO<sub>2</sub> untersucht wurden, konnte je nach Straßenabschnitt und Szenario eine Reduktion der Emissionen in den umweltsensiblen Bereichen von teilweise über 20 % erzielt werden. Zur Gesamtbilanzierung wurden in der Leipziger Straße die Streckenabschnitte stromaufwärts und stromabwärts des Dosierungsquerschnittes einzeln betrachtet. Der deutlichen Reduzierung der Emissionen stromabwärts im umweltsensiblen dicht bebauten Bereich steht eine leichte Erhöhung stromaufwärts im weniger sensiblen gut durchlüfteten Bereich mit weniger Betroffenheiten gegenüber. Auch die Gesamtbilanz ist positiv, das war so nicht unbedingt zu erwarten gewesen.

### Veränderung der Lärmemissionen

Weder in der Talstraße / Bergstraße noch in der Leipziger Straße haben die UVM-Maßnahmen einen Einfluss auf den DTV. Daher können rechnerisch keine Auswirkungen auf die Lärmemissionen bestimmt werden.

Die Maßnahmen tragen jedoch zu einer Verstetigung des Verkehrsflusses im umweltsensiblen Bereich bei. Hierdurch ist ein nicht quantifizierbarer Beitrag zur Lärminderung durch die Reduzierung der Beschleunigungsvorgänge zu verzeichnen.

### Veränderung der Verkehrssicherheit

Die Maßnahmen des UVM haben sowohl in der Talstraße / Bergstraße als auch in der Leipziger Straße Auswirkungen auf den Verkehrsablauf, welcher im umweltsensitiven Bereich verstetigt wird, der DTV erfährt jedoch keine Veränderung. Die Veränderungen im Verkehrsablauf können sich unter Umständen auf die Verkehrssicherheit auswirken. Da die Verkehrssicherheit jedoch von weiteren, maßgeblichen Faktoren, bspw. bauliche Gestaltung, Signal-

steuerung, Führung des Rad- und Fußverkehrs, abhängig ist, können keine Wirkungen abgeschätzt werden.

### Veränderung der Immissionen (NO<sub>2</sub>)

Bei der Gesamt-Immissionsbelastung, die für NO<sub>2</sub> untersucht wurde, konnte in der Bergstraße eine Reduktion von 3,9 % (Szenario S2 zu S0) bzw. 7,9 % (Szenario S3 zu S0) sowie in der Leipziger Straße eine Reduktion von 7,2 % (Szenario S1 zu S0) ermittelt werden. Zum Nachweis, dass die räumliche Rückverlagerung des Verkehrs von der Bergstraße in die Talstraße durch die optimierte Koordinierung (mit faktisch leichter Zuflussdosierung) nicht dort zu negativen immissionsseitigen Wirkungen führt, erfolgten sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts der steuerungsmaßgeblichen LSA Immissionsmessungen. Im Ergebnis der Messungen konnte eine negative Auswirkung durch die Rückverlagerung des Verkehrs in die Talstraße ausgeschlossen werden.

## 6.4 Potsdam

Die Wirkungen des UVM Potsdam werden am Beispiel des Hotspots Behlerstraße betrachtet. Da sich die Evaluierung in den Jahren 2013 und 2014 hauptsächlich auf die Hotspots selbst mit den dortigen verkehrlichen und umweltseitigen Wirkungen beschränkt hat, wurde im Rahmen dieses Projekts eine zusätzliche verkehrliche Modellrechnung für den Wirkungsbereich vor, im und nach dem Hotspot durchgeführt (siehe Bild 6-1). Der Hotspot selbst ist eine Einbahnstraße in Richtung Nordwest. Aus diesem Grund wurde auch nur diese nach Norden orientierte Fahrtrichtung betrachtet.

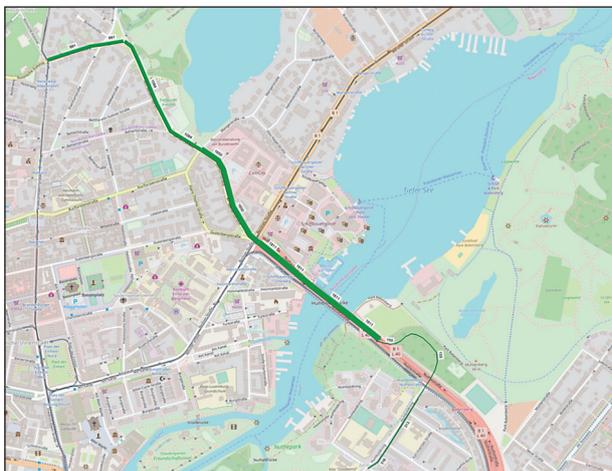


Bild 6-1: Wirkungsbereich vor, im und nach dem Hotspot Behlerstraße (eigene Abbildung, vmz, Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

Größe	NF	PF1	PF2	PF1 zu NF	PF2 zu NF	PF2 zu PF1
DTV (Kfz/Tag)	17.197	16.800	16.602	-2,3 %	-3,5 %	-1,2 %
LOS1 (% an DTV)	4	4,3	4,3	7,5 %	7,5 %	0,0 %
LOS2 (% an DTV)	76,6	88,6	92,7	15,7 %	21,0 %	4,6 %
LOS3 (% an DTV)	15,2	6	3	-60,5 %	-80,3 %	-50,0 %
LOS4 (% an DTV)	4,2	1,1	0	-73,8 %	-100,0 %	-100,0 %
NO <sub>x</sub> -Emission (g/(m*Tag))	8,23	7,82	7,65	-5,0 %	-7,1 %	-2,2 %
PM10-Emission (g/(m*Tag))	0,96	0,89	0,87	-6,6 %	-9,2 %	-2,7 %
NO <sub>2</sub> -Immission (µg/m³)	36,8	35,8	35,5	-2,5 %	-3,5 %	-1,0 %

Tab. 6-7: Wirkungen der Maßnahmen im Hotspot Behlertstraße

Größe	NF	PF1	PF2	PF1 zu NF	PF2 zu NF	PF2 zu PF1
FL (Fzg. 10 <sup>6</sup> km/Jahr)	15,32	14,96	14,79	-2,3 %	-3,5 %	-1,2 %
NO <sub>x</sub> -Emission (t/a)	12,27	11,98	11,89	-2,3 %	-3,1 %	-0,8 %
PM10-Emission (t/a)	1,47	1,43	1,41	-2,7 %	-3,9 %	-1,2 %
NO <sub>2</sub> -Immission (Max-Wert in µg/m³)	38,3	37,9	37,7	-1,0 %	-1,5 %	-0,5 %

Tab. 6-8: Wirkungen der Maßnahmen im Wirkungsgebiet Behlertstraße

Diese Modellrechnung wurde für die Spitzenstunde durchgeführt und mit Messungen der Verkehrsstärken im Hotspot (lokale Verkehrsmessstelle) sowie mit gemessenen Reisezeiten aus Messfahrten vor der Einführung des UVM kalibriert. Die Wirkungen in der Spitzenstunde wurden anschließend auf Basis der im Hotspot erfassten Tages- und Jahresganglinien der Kfz-Verkehrsstärke auch für die nicht detektierten vor- und nachgelagerten Abschnitte auf einen Jahreswert hochgerechnet.

Reisezeitmessungen waren in Potsdam nicht Gegenstand der Evaluierung. Deshalb wurden die Reisezeiten für die Betrachtungen in diesem Projekt mithilfe der o. g. Modellrechnung, gestützt auf Messfahrten vor der Umsetzung der umweltorientierten Verkehrssteuerung, ermittelt.

#### 6.4.1 Zusammenfassung der Wirkungen

Die UVM-Schaltung für den Hotspot Behlertstraße wurde in den Jahren 2013 und 2014 insgesamt 1.171 Mal für insgesamt 3.443 Stunden aktiviert. Damit waren 27,6 % der den Hotspot passierenden Kfz von den Schaltungen unmittelbar betroffen.

Im Hotspot Behlertstraße konnte bei einer geringfügigen Drosselung der Kfz-Verkehrsstärke eine deutliche Verstetigung des Verkehrsablaufs im Hotspot erzielt werden. Dies ist die beabsichtigte Wirkung durch eine Modifikation der LSA-Steuerung in diesem Regelbereich.

Deutliche Rückgänge der Tagesverkehrsstärken infolge der Drosselung konnten nicht festgestellt werden. Als Ursache wird im Wesentlichen das Fehlen von geeigneten Alternativrouten gesehen.

Die Modifikation der LSA-Steuerung hat in den Schaltstunden jedoch zu einer Verlagerung der Staueffekte vom Hotspot in den Bereich vor der Zufussdosierung auf der Nuthestraße geführt. Somit wurden emissionsseitig besonders bedeutsame Verkehrsanteile (LOS4) vom eng bebauten Hotspotbereich in den deutlich besser durchlüfteten Bereich davor verlagert.

Für die Wirkungsanalyse wurden zwei Planfälle dem Nullfall gegenübergestellt. Während der Nullfall die Situation vor Einführung der umweltorientierten Verkehrssteuerung widerspiegelt, bildet der Planfall 1 die Situation nach Einführung der Umweltsteuerung ab. Im Planfall 2 werden eine häufigere Umweltschaltung und eine höherer Eingriffsschwere in der Verkehrssteuerung abgebildet.

Die Wirkungen der beiden Planfälle für die Behlertstraße sind für den Hotspot in Tabelle 6-7 und für den Wirkungsbereich in Tabelle 6-8 aufgeführt.

#### 6.4.2 Diskussion der Wirkungen

##### Verkehrsverlagerungen

Aufgrund der Straßennetzstruktur Potsdams (insbesondere Querung der Havel über zwei Brücken)

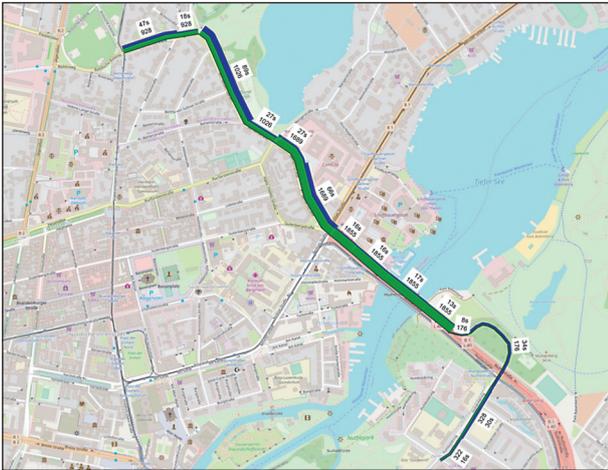


Bild 6-2: Abschnittsbezogene Reisezeiten im Wirkungsbereich Behlertstraße vor Einführung des UVM (eigene Abbildung, vmz, Kartengrundlage: © OpenStreet-Map und Mitwirkende, CC-BY-SA)

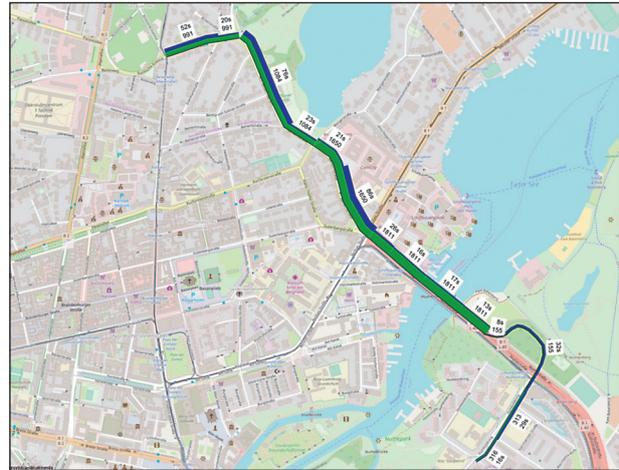


Bild 6-3: Abschnittsbezogene Reisezeiten im Wirkungsbereich Behlertstraße mit UVM (eigene Abbildung, vmz, Kartengrundlage: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

existieren für den Hotspot Behlertstraße für die meisten Fahrtverbindungen kaum adäquate Alternativrouten. Deshalb führt die Drosselung vor Allem zu einer Kappung und zeitlichen Ausdehnung der Tagesspitzen. In der Folge führt die Drosselung vor dem Hotspot nur zu einer geringen Reduktion der jährlichen Verkehrsstärke (DTV). Verkehrsverlagerungen in umliegende Straßen durch das UVM können somit vernachlässigt werden.

### Veränderungen von Fahrzeiten

Die Fahrzeiten wurden mithilfe eines makroskopischen Verkehrsmodells ermittelt. Dieses Modell wurde für den Fall ohne UVM-Steuerung anhand von Messfahrten kalibriert. Für den Fall mit UVM-Steuerung liegen keine Messfahrten vor, so dass hier auf die Modellrechnung des kalibrierten Modells zurückgegriffen wurde.

Die Modellrechnung selbst bildet eine mittlere Spitzenstunde ab, sodass hier sowohl Verkehrszustände im LOS4 (Stop+Go) als auch in den LOS3 (gesättigt) und LOS2 (dicht) in entsprechenden Anteilen enthalten sind. Dies bedeutet, dass einige Fahrten durch den Hotspot ohne Halt vor der LSA am Ende des Hotspots (Kurfürstenstraße), andere Fahrten wiederum mit Reisezeitverlusten stattgefunden haben. Das sich hieraus ergebende Mittel wird durch die Modellrechnung abgebildet. In Bild 6-2 und Bild 6-3 sind die abschnittsbezogenen Reisezeiten als Ergebnis der Modellrechnung sowohl vor Einführung des UVM (Bild 6-2) als auch mit UVM (Bild 6-3) dargestellt.

Zu berücksichtigen ist hierbei, dass während der UVM-Evaluation im Hotspot eine Reduktion der zu-

lässigen Höchstgeschwindigkeit von zuvor 50 km/h auf jetzt 30 km/h durch die Straßenverkehrsbehörde vorgenommen wurde. Dies erhöht die Reisezeit im Hotspot selbst, ohne dass diese unterstützende statische Maßnahme ursächlich der dynamischen UVM zuzuordnen ist. Die lokalen Messungen im Hotspot haben gezeigt, dass sich das Geschwindigkeitsniveau durch die Tempo-30-Anordnung um ca. 7 km/h abgesenkt hat. Über diese Messergebnisse zum Befolgungsgrad wurde die Reisezeit für die Kosten- und Wirkungsanalyse in Kapitel 7 auf die Geltung von Tempo 50 zurückgerechnet.

### Veränderungen im Verkehrsfluss (Verkehrsstärkeanteile des LOS)

Der Anteil der Kfz im LOS 4 (Stop+Go) wurde im Hotspot selbst von 4,2 % im Jahr 2010 auf 1,1 % im Mittel der Jahre 2013 und 2014 reduziert. Der Anteil des LOS3 (gesättigt) ging von 15,2 % im Jahr 2010 auf 6,0 % im Jahresmittel 2013/14 zurück (Details siehe Anlage 3).

Im Bereich der Nuthestraße im Zufluss zum Hotspot haben aufgrund der Zuflussdosierung die Anteile des LOS3 und LOS4 hingegen infolge der UVM-Schaltung zugenommen. Der Anteil des LOS4 am DTV stieg von 3,8 % im Jahr 2010 auf 5,5 % im Jahresmittel 2013/14 an. Der Anteil des LOS3 stieg von 13,7 % auf 20 %.

### Veränderung der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>)

Auf der Basis der hier durchgeführten Verkehrsmodellierung und einer Wirkungsschätzung auf Basis von Jahreswerten gehen im Hotspot selbst entsprechend dem leichten Rückgang der Verkehrsstärke und dem deutlicheren Rückgang der Verkehrsstö-

	JM-DTV in Kfz/24h	JM-SV in Kfz/24h	Strecke	Fahrzeit
Planfall 3 MS Dessauer Straße	13.558	734	4,64 km	457 s
Planfall 1 MS Dessauer Straße	13.858	1.033	4,64 km	457 s
Nullfall MS Dessauer Straße	13.888	1.063	4,64 km	457 s
Planfall 3 Umleitungsstrecke	5.580	717	6,31 km	685 s
Planfall 1 Umleitungsstrecke	5.293	430	6,31 km	685 s
Nullfall Umleitungsstrecke	5.265	401	6,31 km	685 s

Tab. 6-9: UVM-Wittenberg – Übersicht verkehrliche Wirkungen.

	NO <sub>x</sub> - Emi. in t/a	PM2.5- Emi. in t/a	CO <sub>2</sub> - Emi in kt/a	Lärmemi. (Tag/Nacht) in dB(A)	PM2.5- JM µg/ m <sup>3</sup>	PM10- JM µg/ m <sup>3</sup>	Anzahl PM10- TGWÜ	NO <sub>2</sub> -JM µg/m <sup>3</sup>
Planfall 3 Gesamtnetz	18,1	1,074	6,38	-	-	-	-	-
Planfall 1 Gesamtnetz	17,2	1,051	6,23	-	-	-	-	-
Nullfall Gesamtnetz	17,1	1,049	6,22	-	-	-	-	-
Planfall 3 Dessauer Straße	0,291	0,0176	0,105	71,9 / 64,6	18,0	24	25	32,5
Planfall 1 Dessauer Straße	0,339	0,0189	0,113	73,4 / 66,0	18,3	25	26	34,6
Nullfall Dessauer Straße	0,343	0,0191	0,114	73,5 / 66,1	18,3	25	28	34,8
Planfall 3 Umleitungsstrecke	0,239	0,0109	0,070	70,8 / 63,4	17,1	26	n.B.	29,2
Planfall 1 Umleitungsstrecke	0,180	0,0093	0,059	68,6 / 61,3	16,7	25	n.B.	26,1
Nullfall Umleitungsstrecke	0,174	0,0091	0,058	68,4 / 61,0	16,7	25	n.B.	25,8

Tab. 6-10: UVM-Wittenberg – Übersicht Wirkungen bzgl. Emission und Immission. Die Auswertung der Wirkung auf der Umleitungsstrecke bezieht sich auf den dicht bebauten Abschnitt der Dobschützstraße zwischen Lessingstraße und Lucas-Cranach-Straße. (JM=Jahresmittel; TGWÜ=Tagesgrenzwertüberschreitung)

zung die NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen im Planfall 1 um 5 % bzw. 6,6 % und im Planfall 2 um 7,1 % bis 9,2 % zurück (siehe Tabelle 6-7).

Im gesamten Wirkungsbereich fällt der Rückgang der Emissionen entsprechend der Verlagerungen der Verkehrsstörung geringer aus und beträgt im Vergleich vom Planfall 1 zum Nullfall bei NO<sub>x</sub> 2,3 % und bei PM10 2,7 % und im Vergleich von Planfall 2 zum Nullfall auf Grund der hier nicht berücksichtigten Ausweichverkehre bei NO<sub>x</sub> 3,1 % und bei PM10 3,9 %

### Veränderung der Lärmemissionen

Die Reduktion des DTV im Hotspot Behlertstraße infolge des UVM ist nicht groß genug, um eine Wirkung auf die Lärmemissionen im wahrnehmbaren Bereich erzielen zu können, die Anordnung von Tempo 30 hingegen schon. Diese Anordnung ist jedoch keine dynamische UVM-Maßnahme und wird daher hier nicht betrachtet.

### Veränderung der Verkehrssicherheit

Daten zur Verkehrssicherheit für die Fälle ohne und mit UVM liegen leider nicht vor.

### Veränderung der Immissionen (NO<sub>2</sub>)

Entsprechend der Wirkungen bei den Emissionen geht die NO<sub>2</sub>-Belastung im Hotspot, berechnet auch hier auf der Basis von Jahreswerten, im Planfall 1 gegenüber dem Nullfall um 2,5 % und im Planfall 2 um 3,5 % zurück. Der Rückgang, wie er auf Basis der Monitordaten in der Evaluierung in Anlage 3 beschrieben wird, betrug für den hier vergleichbaren Planfall 1 bei NO<sub>2</sub> je nach Bezugsjahr 2,2 % bis 4,6 %.

## 6.5 Lutherstadt Wittenberg

### 6.5.1 Zusammenfassung der Wirkungen

Tabelle 6-9 zeigt zusammenfassend die Wirkungen der UVM-Maßnahme in den Straßenzügen Wittenbergs (Dessauer Straße und Umfahrung) hinsichtlich der verkehrlichen Wirkungen zwischen Nullfall und Referenzfall (=Planfall 1). Zusätzlich sind die Wirkungen bei einer fiktiven dauerhaften Umleitung (=Planfall 3) aufgezeigt. In Tabelle 6-10 sind die Wirkungen bzgl. der Emissionen (NO<sub>x</sub>, PM2.5, CO<sub>2</sub>, Lärm) und Immissionen (PM10, NO<sub>2</sub>) zusammengefasst.

## 6.5.2 Diskussion der Wirkungen

### Verkehrsverlagerungen

Entsprechend der vorliegenden Informationen benutzen bei Auslösung des Lkw-Fahrverbotes ca. 60 % der in Richtung Osten fahrenden Lkw die Umleitungsstrecke. Im Durchschnitt eines Tages reduziert sich dann im Bereich der Messstelle Dessauer Straße die Verkehrsbelastung um ca. 320 Lkw. Im Gesamtquerschnitt ergibt sich eine Verringerung der Lkw um ca. 30 % bzw. des Gesamtverkehrs um 2 %.

Diese Verringerung der Lkw-Fahrleistungen führt an den entsprechenden Aktivierungstagen dort zu den unten diskutierten Emissions- und Immissionsreduzierungen.

Auf der Umleitungsstrecke erhöhen sich die Lkw-Zahlen entsprechend um ca. 80 %. Dies entspricht einer Erhöhung der Verkehrsmenge an Tagen mit Aktivierung um 6 %.

Es gibt auf der Umleitungsstrecke einen Bahnübergang sowie Engstellen, die das „Aneinander vorbeikommen“ bei höheren Lkw-Fahrleistungen erschweren. Im Zweifelsfall (bei entsprechenden Baustellensituationen) wurde die Umleitung für eine beschränkte Zeit ausgesetzt. Dies war auch ein Grund, warum die Lkw-Umleitung nicht in beide Fahrrichtungen ausgeweitet wurde.

### Veränderungen von Fahrzeiten

Messfahrten zur Quantifizierung der Fahrzeitverluste für die von der Umleitung betroffenen Lkw liegen nicht vor. Anhand der Auswertungen aus dem Verkehrslagesystem Wittenberg kann abgeschätzt werden, dass hier Fahrzeitverluste von ca. 4 Minuten auftreten.

### Veränderungen im Verkehrsfluss

In der Dessauer Straße sind durch die genannten Abnahmen der Lkw-Belegungen, wenn überhaupt, nur geringe Veränderungen im Verkehrsfluss eingetreten.

Auf der Umleitungsstrecke kann es bei den o.g. Begegnungsverkehren zu Behinderungen kommen. Verlässliche Daten hierzu liegen nicht vor.

### Veränderung der Emissionen (NO<sub>2</sub>, PM10, CO<sub>2</sub>)

Die Veränderungen in den Emissionen wurden für den Planfall 1 (Referenzfall) und den Nullfall mit PROKAS<sup>online</sup> berechnet.

Bei den Emissionen konnten im Planfall 1 gegenüber dem Nullfall im Bereich der Messstelle Dessauer Straße Reduktion der Emissionen von 1,1 % (PM10), 1,2 % (NO<sub>x</sub>) sowie 0,9 % (CO<sub>2</sub>) erzielt werden. Auf der Umleitungsstrecke erhöhten sich die Emissionen um 1,9 % (PM10), 3,4 % (NO<sub>x</sub>) sowie 1,7 % (CO<sub>2</sub>).

Im Gesamtnetz gibt es im Jahresmittel Emissionserhöhungen von 0,6 % (NO<sub>x</sub>), 0,5 % (PM10), 0,2 % (CO<sub>2</sub>). Würde das ganze Jahr aktiviert, würden sich Erhöhungen je Schadstoff von 2 % bis 4 % ergeben.

### Veränderung der Lärmemissionen

An Tagen mit der (einseitigen) Lkw-Umleitung reduzieren sich die Lärmemissionen im Bereich der Messstelle Dessauer Straße nachts um ca. 0,1 dB(A). Auf der Umleitungsstrecke erhöhen sich die Lärmemissionen an diesen Tagen nachts um ca. 1,7 dB(A). Dies liegt unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (3 dB(A)).

Im Jahresmittel sind keine relevanten Veränderungen der Lärmsituation eingetreten.

### Veränderung der Verkehrssicherheit

An Tagen mit der (einseitigen) Lkw-Umleitung reduzieren sich die Lkw-Zahlen auf der Dessauer Straße wie oben erläutert. Dies führt zu einer geringen Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Auf der Umleitungsstrecke erhöht sich der Lkw-Verkehr um +80 %, welches einer Erhöhung der Verkehrsmenge an Tagen mit Aktivierung um 6 % entspricht. Dies führt zu einer geringfügigen Verringerung der Verkehrssicherheit.

### Veränderung der Immissionen (PM10, NO<sub>2</sub>)

Die Aktivierung der Lkw-Umleitung führte an der Messstelle Dessauer Straße bei 33 Aktivierungstagen (Aktivierungsrate=9 %) zu einer Verringerung der Tage mit PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen von 28 auf 26 (-7 %).

Die Veränderungen in den Immissionen für das Gesamtnetz wurden für die Planfälle 1 und 3 sowie für den Nullfall mit PROKAS<sup>online</sup> berechnet.

Es ergeben sich im Mittel der Tage mit Lkw-Umleitung im Bereich der Messstelle Dessauer Straße Minderungen um ca. 3 µg/m<sup>3</sup> (NO<sub>2</sub>) bzw. ca. 1 µg/m<sup>3</sup> (PM10) im Vergleich zum Jahresmittel des Nullfalls.

In einem Straßenabschnitt mit dichter Randbebauung im Bereich der Umleitungsstrecke Dobschütz-

straße erhöhen sich im Mittel der Tage mit Lkw-Umleitung die Immissionen um ca.  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{NO}_2$ ) bzw. ca.  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM10) im Vergleich zum Jahresmittel des Nullfalls. Das Konzentrationsniveau liegt dort aber wegen der deutlich geringeren Verkehrsbelastung weit unterhalb der Grenzwerte und auch deutlich niedriger als an der Dessauer Straße.

Im Jahresmittel ergeben sich keine relevanten Unterschiede zwischen Nullfall und Planfall 1.

## 6.6 Steiermark

### 6.6.1 Zusammenfassung der Wirkungen

Tabelle 6-11 zeigt zusammenfassend die Wirkungen der UVM-Maßnahme in den vier Korridoren der Verkehrsbeeinflussungsanlage im Großraum Graz auf der A2 (Süd-Autobahn) und der A9 (Pyhrn-Autobahn) hinsichtlich der verkehrlichen Wirkungen. In der Tabelle 6-12 sind die Wirkungen bzgl. der Emis-

sionen ( $\text{NO}_2$ , PM10,  $\text{CO}_2$ ) und in Tabelle 6-13 hinsichtlich der  $\text{NO}_x$ -Immissionen zusammengefasst.

### 6.6.2 Diskussion der Wirkungen

#### Verkehrsverlagerungen

Die immissionsabhängige Verkehrsbeeinflussungsanlage wird im Großraum Graz auf vier getrennten Teilkorridoren der A2 (Süd-Autobahn) und der A9 (Pyhrn-Autobahn) seit 2008 betrieben. Aus den vorliegenden Evaluierungen, einmal für den Bezugszeitraum 2011/2012 (FVT, 2013) und weiterhin für 2015 (FVT, 2016), ergeben sich für die Korridore Zunahmen der Pkw-Belastungen von 6 % bis 30 %. Es ist davon auszugehen, dass ein temporäres Tempolimit zu keinen Verkehrsverlagerungen führt, da es im Umfeld keine alternativen Routen mit einem vergleichbar hohen Ausbaugrad wie eine Autobahn gibt.

Korridor	Länge (km)	mittlere Geschwindigkeiten (km/h)				Reisezeiten (s)				Veränderung T100 zu T130 (s)	
		T130 R1	T130 R2	T100 R1	T100 R2	T130 R1	T130 R2	T100 R1	T100 R2	R1	R2
Ost	34,4	119,0	110,7	104,8	103,1	1041	1119	1182	1201	-141	-82
West	6,4	107,1	114,9	101,5	104,1	215	201	227	221	-12	-21
Süd	20,8	119,3	117,9	107,5	109,5	627	634	695	683	-69	-49
Nord	6,1	120,9	121,1	111,0	112,3	181	181	198	195	-16	-14

T130, T100: Tempolimit 130 km/h, 100 km/h  
R1, R2: Fahrtrichtung 1 und 2

Tab. 6-11: Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten und der Reisezeiten je Korridor bei Aktivierung eines Tempolimits

Korridor	$\text{NO}_x$		PM10 (Auspuff)		$\text{CO}_2$	
	absolut (t/a)	relativ	absolut (kg/a)	relativ	absolut (t/a)	relativ
Ost	-27	-8,7 %	-315	-4,5 %	-3690	-4,4 %
West	-7	-13,6 %	-82	-7,1 %	-984	-6,9 %
Süd	-9	-6,2 %	-104	-3,2 %	-1261	-3,1 %
Nord	-4	-9,1 %	-47	-4,8 %	-566	-4,6 %
Gesamt	-47	-9,1 %	-548	-4,7 %	-65	-4,6 %

Tab. 6-12: Wirkung der temporären Geschwindigkeitsbeschränkung auf die Kfz-Emissionen

Korridor	Schwellenwert PM10	Schwellenwert Zusatzbelastung $\text{NO}_x$	Aktivierungsrate	Minderung im Vergleich zu ganzjährig	$\text{NO}_x$ -Minderung ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) im Abstand	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			30 m	100 m
Ost	50	57,3	35,9 %	63 %	4 - 5,5	2
West	50	45,8	54,4 %	83 %	>3	1
Süd	50	26,7	28,2 %	51 %	2 - 3	1
Nord	50	30,6	36,7 %	66 %	2 - 3	1

Tab. 6-13: Wirkung der temporären Geschwindigkeitsbeschränkung auf die  $\text{NO}_x$ -Belastung in Abhängigkeit vom Straßenabstand und im Vergleich zu einer ganzjährigen Aktivierung

### Veränderungen von Fahrzeiten

Aus den Evaluierungen für das Bezugsjahr 2015 (FVT, 2016) werden aus Geschwindigkeitsmessungen Reduktionen der richtungsbezogenen mittleren Geschwindigkeiten für die Pkw von 5,6 km/h bis 14,2 km/h bei einer Aktivierung des Tempolimits ermittelt (Tabelle 6-11). Nimmt man an, dass diese Geschwindigkeitsreduktionen über den gesamten Korridor gelten, errechnen sich daraus mit den Korridorlängen Veränderungen der Fahrzeiten bei einer Maßnahmenaktivierung von 12 s bis 141 s.

### Veränderungen im Verkehrsfluss (Zeitanteile des LOS)

In den Evaluierungen zur VBA-Umwelt Steiermark werden keine Angaben über eine Veränderung des Verkehrsflusses durch die Aktivierung der Maßnahmen gemacht.

### Veränderung der Emissionen

In FVT (2016) wurden die Verkehrsemissionen auf der Basis des HBEFA 3.2 mit dem Modell NEMO berechnet (REXEIS & HAUSBERGER, 2005). Demnach wurde auf Basis der Verkehrsdaten und der Schalthäufigkeiten die Emissionsreduktion in allen vier Korridoren ermittelt, wie sie in Tabelle 6-12 aufgeführt wird. Zusammenfassend wird in FVT (2016) festgestellt, dass „im gesamten VBA Gebiet im Evaluierungszeitraum 9,1 % der  $\text{NO}_x$ -Emissionen der Pkw und 4,7 % der PM-Auspuffemissionen der Pkw eingespart“ und „außerdem der Kraftstoffverbrauch der Pkw um 4,6 % reduziert“ wurde.

### Veränderung der Lärmemissionen

In FVT (2016) werden keine Angaben zur Veränderung der Lärmemissionen gemacht. Nach der RLS90 bedeutet eine Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen von 130 km/h auf 100 km/h bei einem Lkw-Anteil von 10 % eine Verringerung der Lärmemissionen um 1,9 dB(A) und bei einem Lkw-Anteil von 0 % um 3,2 dB(A).

### Veränderung der Verkehrssicherheit

In FVT (2016) werden keine Angaben zum Einfluss der VBA auf die Verkehrssicherheit gemacht. Nach Angaben der ASFINAG (2008) „wird die Verkehrsbeeinflussungsanlage auch zur effizienteren Verkehrssteuerung eingesetzt. Durch die flexibel gestaltbaren Anzeigen können die Autofahrer auch auf Baustellen hingewiesen oder vor Gefahren wie Glatteis, Unfällen oder Geisterfahrern gewarnt werden.“

### Veränderung der Immissionen

Die Auswirkungen der VBA auf die  $\text{NO}_x$ -Belastung wurden mit dem Ausbreitungsmodell GRAL (OETTL, 2013) berechnet. Zusätzlich wurden die berechneten Konzentrationen unter Berücksichtigung der Schaltzeiten in den Korridoren mit einer analogen Berechnung unter Berücksichtigung eines dauerhaften Tempolimits verglichen. Betrachtet wurden dabei ein ganzjähriges dauerhaftes Tempolimit sowie ein Tempolimit während des Winterhalbjahres. Bei einem Abstand von 100 m zur Straße beträgt die Minderung der  $\text{NO}_x$ -Belastung 1 bis 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bei einem Abstand von 30 m geht die Minderung hoch auf 2 bis 5,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der Vergleich der Wirkung der temporären Aktivierung mit einem dauerhaften ganzjährigen Tempolimit zeigt, dass ein temporäres Tempolimit bei einer vergleichsweise niedrigen Aktivierungsrate von 28 % nur 51 % und bei einer hohen Aktivierungsrate von 54 % 83 % der Wirkung einer dauerhaften ganzjährigen Tempolimit erreicht werden.

## 7 Kosten- und Wirkungsanalyse

### 7.1 Methoden

Es gibt derzeit keine geeignete Methodik, um Maßnahmen der Luftreinhaltung (seien sie dauerhaft oder mittels UVM temporär geschaltet) umfassend und objektiv zu bewerten. Dies liegt maßgeblich an folgenden Gründen:

- Die Notwendigkeit der Einhaltung der Luftschadstoffgrenzwerte ergibt sich aus der Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie zur Luftqualitätsüberwachung und der zugehörigen Tochterrichtlinien in deutsches Recht durch Novellierung des BImSchG und Erlass der 39. BImSchV. Die Einhaltung der Grenzwerte ist einklagbar und somit eine Pflichtaufgabe.
- Bei Nichteinhaltung der Grenzwerte droht ein Vertragsverletzungsverfahren mit der Gefahr, am Ende mit hohen Strafzahlungen belastet zu werden. Es ist also erforderlich, Lösungen umzusetzen, die eine dauerhafte Einhaltung der Grenzwerte gewährleisten.
- Entscheidungsträger für Maßnahmen sind die zuständigen Gebietskörperschaften. Je nach Bundesland sind diese das Bundesland selbst, sonst Bezirksregierungen oder Regierungsprä-

sidien, die im Einvernehmen mit Kommunen UVM-Maßnahmen beschließen.

- Für die Bundesrepublik und für die verantwortlichen Bundesländer und Gebietskörperschaften ist die Vermeidung von Strafzahlungen wichtig. Die vermiedene Strafzahlung kann dabei als positiver Nutzen einer Maßnahme betrachtet werden. Sie sollte als Indikator in eine Bewertung einfließen. Dabei spielt es derzeit keine Rolle, ob und ggf. wie eine Strafzahlung auf Gebietskörperschaften aufgeteilt würde.
- Aus Sicht des Bundes sind Investitionen, an denen der Bund maßgeblich beteiligt ist, nach gesamtwirtschaftlichen Grundsätzen zu bewerten. Bei den UVM-Systemen handelt es sich teilweise um größere Investitionen, für die eine gesamtwirtschaftliche Bewertung von Interesse ist. Um realisierungswürdig zu sein, muss eine Maßnahme nach einer Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) ein Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) größer 1 aufweisen.
- Methodisch kann auf die Richtlinie für wirtschaftliche Vergleichsrechnungen (RWS) der FGSV (FGSV 2016) zurückgegriffen werden. Sie ermöglicht eine Bewertung auf der Grundlage von monetären oder monetarisierbaren Nutzen und Kosten. Eine Grenzwerteinhaltung bzw. Grenzwertüberschreitung und ggf. Strafzahlungen gehen in diese Bewertung allerdings nicht ein.
- Problematisch bei der Anwendung einer Nutzen-Kosten-Analyse ist bei UVM-Maßnahmen auch die Definition eines Vergleichsfalls bzw. einer Alternative. Zum einen spricht einiges für einen Vergleich zum sogenannten Nullfall, d. h. ohne Luftreinhaltemaßnahme(n). Zum anderen ist die Gebietskörperschaft durch den Gesetzgeber gezwungen, die Grenzwerte einzuhalten. Der Nullfall als Vergleichsfall ist deshalb normalerweise keine echte Alternative, da es mit ihm zu Grenzwertverletzungen gekommen ist oder zukünftig die Gefahr dazu besteht. Maßnahmen im Rahmen eines UVM geben die Möglichkeit, einen Mittelweg zwischen Nullfall (Nichtstun) und dauerhafter Maßnahmenschaltung zu wählen und umzusetzen.
- Der temporäre Charakter von UVM-Maßnahmen, der die möglichen negativen Auswirkungen der Maßnahme auf einen möglichst kleinen Zeitraum beschränkt, lässt sich objektiv nur schlecht vergleichend bewerten.

Im Folgenden wird trotz der beschriebenen Probleme versucht, Kriterien für eine gesamtwirtschaftliche Bewertung der UVM-Systeme bzw. Maßnahmen zu definieren.

Dabei soll den oben diskutierten verschiedenen Betrachtungsebenen insofern gerecht werden, als dass für die Bundesebene als Verfahren eine quantifizierte Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) und für die Landes- und Kommunalebene eine qualitative Nutzwertanalyse (NWA) angewendet wird. Während das erste Verfahren die ökonomisch bewertbaren Wirkungen umfasst, werden mit dem zweiten Verfahren unter Einschluss der Ergebnisse der NKA weitere, für die Entscheidungsfindung wichtige Aspekte diskutiert.

### 7.1.1 Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)

Die methodische Grundlage für die Nutzen-Kosten-Analyse liefert die Richtlinie für wirtschaftliche Vergleichsrechnungen der FGSV (FGSV, 2016). Obwohl diese Richtlinie für die Bewertung in Bezug auf Straßenbauprojekte erarbeitet worden ist, wird sie nachfolgend mangels Alternativen hilfsweise für die volkswirtschaftliche monetäre Bewertung von Nutzen und Kosten eines UVM bzw. von UVM-Maßnahmen angewendet.

Es werden für jedes Untersuchungsgebiet ein Nullfall (ohne UVM-Maßnahmen) und Planfälle (mit unterschiedlichen UVM-Maßnahmen) definiert. Dabei entspricht der Planfall 1 dem realisierten Fall in den Untersuchungsgebieten, während Planfall 2 einen fiktiven Planfall darstellt, indem beispielsweise der Schwellenwert für das Schalten von Maßnahmen im Sinne einer sinnvoll umsetzbaren Wirkungsoptimierung verändert wird.

Räumlich wird ein Wirkungsraum abgegrenzt, als Straßennetz mit und ohne Randbebauung und Strukturdaten, für das Wirkungen der UVM-Maßnahmen ermittelt werden. Zeitlich wird ein ganzes Jahr (Bezugsjahr) betrachtet. Das Bezugsjahr wird pragmatisch aus der verfügbaren Datenlage für die Untersuchungsgebiete abgeleitet.

Die Wirkungen werden, soweit sie nicht originär als monetäre Größen vorliegen, mit den Ansätzen der RWS in monetäre Größen umgerechnet. Aus den monetären Jahresbeträgen wird die Summe der Wirkungen als jährlicher Nutzen berechnet.

Nr.	Indikator Beschreibung	Dimension	Wert/Faktor
1	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV Mo-Fr	(€ / Kfz-h)	16,00
2	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV Sa	(€ / Kfz-h)	13,50
3	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV So	(€ / Kfz-h)	16,00
4	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV Mo-Fr	(€ / Kfz-h)	43,00
5	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV Sa	(€ / Kfz-h)	60,50
6	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV So	(€ / Kfz-h)	90,50
7	fahrleistungsbezogene Kosten für leichte Fahrzeuge LV	(€ / (Fzg*100km))	12,64
8	fahrleistungsbezogene Kosten für schwere Fahrzeuge SV	(€ / (Fzg*100km))	31,73
9	Kraftstoffverbrauch für leichte Fahrzeuge LV, Benzin	(€ / kg)	1,04
10	Kraftstoffverbrauch für leichte Fahrzeuge LV, Diesel	(€ / kg)	1,01
11	Kraftstoffverbrauch für schwere Fahrzeuge SV, Diesel	(€ / kg)	1,01
12	Unfallkosten auf Strecken	(€)	1,49*
13	CO <sub>2</sub> -Emissionen	(€ / t)	145,00
14	Lärmbelastung	(€/LEG)	72,00
15	Krankheitsfälle NO <sub>2</sub> - COPD	(€ / Fall)	2.400,00
16	Krankheitsfälle PM2.5 – chron. Bronchitis	(€ / Fall)	3.800,00
17	Krankheitsfälle PM2.5 – Asthma	(€ / Fall)	1.500,00
18	Todesfälle NO <sub>2</sub> und PM2.5	(€ / Fall)	1.200.000,00
19	Schadstoffbelastung nach Stand. Bewertung	(€)	1,00**
20	Jahreskosten aus Investitionen	(€)	0,1172***
21	Betriebskosten	(€)	1,00****

\* Unfallkosten werden streckenspezifische ermittelt und aufsummiert. Das Ergebnis liegt als Kosten (€) vor. Der Faktor 1,49 berücksichtigt die Preisanpassung der Unfallkosten gegenüber den Ansätzen der RWS 2014.

\*\* Das Ergebnis der Standardisierten Bewertung der Gesundheitskosten hat die Dimension (€); das Ergebnis wird nicht gewichtet.

\*\*\* Der Annuitätenfaktor für 10 Jahre beträgt 0,1172 (RWS, 2014) bzw. 0,10959 (RWS, 2016).

\*\*\*\* Das Ergebnis der Betriebskosten wird nicht gewichtet.

Tab. 7-1: Indikatoren für Wirkungen mit Angabe der Dimensionen und Wertansätze der NKA (Bezugszeitraum 1 Jahr)

Auf der Seite der Kosten werden aus den Investitionskosten<sup>37</sup> nach den Abschreibungsmethoden der RWS Jahreskosten abgeleitet. Dabei wird ein Bewertungszeitraum von 10 Jahren angesetzt. Die jährlichen Betriebskosten stellen direkt eine monetäre Größe dar<sup>38</sup>. Mit den Jahreskosten aus Investitionen und den jährlichen Betriebskosten wird die jährliche Kostensumme ermittelt. Diese kann der Summe des jährlichen Nutzens als Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) gegenübergestellt werden.

Es werden in der NKA die in Tabelle 7-1 aufgeführten Wirkungen berücksichtigt. Bei der Berechnung der Wirkungen gelten die Berechnungsvorschriften der RWS, die entsprechend der Datenlage ange-

passt werden. So erfolgten insbesondere die Emissionsberechnungen auf Basis HBEFA3.2 sowie die Immissionsberechnungen mit IMMIS<sup>mt</sup> bzw. PROFET/PROKAS<sup>online</sup>. Zur Beschreibung der Vorgehensweise sei auf Kapitel 12 verwiesen. Da die Bewertung des Gesundheitsnutzens häufig kontrovers diskutiert wird, wird das Verfahren der „Standardisierten Bewertung“ (BMVI, 2016) zur Bewertung des Gesundheitsnutzens der RWS Methode gegenübergestellt.

Ein weiterer Aspekt, der in der NKA aufgegriffen wird, betrifft den Umstand, dass der Nullfall keine echte Alternative zu den Planfällen darstellt. Der Nullfall („es wird nichts getan“) verbietet sich als Handlungsmöglichkeit, wenn damit bestehende Gesetze zur Luftreinhaltung verletzt würden. Um vor diesem Hintergrund den gesamtwirtschaftlichen Erfolg abbilden zu können, wird daher auch ein Vergleich der Wirkungen zwischen dem realisierten Planfall und einem weiteren Planfall vorgenommen.

<sup>37</sup> Als Investitionskosten gehen die anteiligen Kosten einer Errichtung des UVM-Systems ein. Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden für alle Untersuchungsgebiete mit Ausnahme von Wittenberg als Investitionskosten 50.000 € angesetzt. Dieser Ansatz beinhaltet, dass die umfangreichen UVM-Systeme für mehrere Hotspot-Gebiete vorgesehen sind.

<sup>38</sup> Auch hier wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit (mit Ausnahme von Wittenberg) einheitliche und anteilige Kosten angesetzt.

Nr.	Bereich	Indikator Beschreibung	Dimension
1	Verkehr	Länge des Hotspots (Richtungen)	(m)
2		Fahrzeit im Nullfall	(Kfz*h/a)
3		... im Planfall 1	(%)
4		Fahrleistung im Nullfall	(Fzg*km/a)
5		... im Planfall 1	(%)
6		Kraftstoffverbrauch im Nullfall	(t/a)
7		... im Planfall 1	(%)
8	Umwelt	Anzahl wohnende Personen	(Anzahl)
9		Lärm-Einwohner-Gleichwert nachts im Nullfall	(LEG)
10		... im Planfall 1	(%)
11		PM2.5 - Emissionen im Nullfall	(t/a)
12		...im Planfall 1	(%)
13		NO <sub>2</sub> - Emissionen im Nullfall	(t/a)
14		...im Planfall 1	(%)
15		CO <sub>2</sub> -Emissionen im Nullfall	(t/a)
16		...im Planfall 1	(%)
17		PM10 Anzahl der Tage mit Grenzwertüberschreitung im Nullfall	(-)
18		...im Planfall 1	(-)
19		PM2.5-Immissionskonzentrationen im Nullfall	(µg/m <sup>3</sup> )
20		...im Planfall 1	(%)
21		NO <sub>2</sub> -Immissionskonzentrationen im Nullfall	(µg/m <sup>3</sup> )
22		...im Planfall 1	(%)
23	Ökonomie	Jahreskosten aus Investitionen	(€)
24		Betriebskosten	(€)
25		Bewertung Strafzahlungen	(-)
26	Rechtsrahmen	Bewertung Befolgungsgrad der Maßnahmen	(-)
27		Bewertung Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen	(-)

Tab. 7-2: Indikatoren und Dimensionen bei der NWA

### 7.1.2 Nutzwertanalyse (NWA)

Ergänzend zur NKA wird eine qualitative Nutzwertanalyse (NWA) durchgeführt. Sie ermöglicht den Einbezug weiterer Indikatoren in die Abwägung pro oder kontra Einführung eines UVM bzw. UVM-Maßnahmen. Sie ermöglicht insbesondere eine Fokussierung der Ergebnisse auf die Hotspot-Bereiche, also auf die Bereiche, in denen Grenzwertüberschreitungen registriert wurden und denen daher das besondere Interesse gilt.

Als weiterer Aspekt werden mögliche EU-Strafzahlungen (Zwangsgeld) in die Diskussion einbezogen, wenn die Grenzwerte dauerhaft nicht eingehalten werden<sup>39</sup>.

Der Adressat der Zwangsgelder ist die Bundesrepublik. Über Art. 104 a Abs. 6 GG ist eine Weitergabe an die Bundesländer möglich. Inwieweit die Bundesländer Zwangsgelder an die zuständigen Gebietskörperschaften weitergeben und diese wieder die betroffenen Kommunen zur Zahlung veranlassen, ist derzeit unklar.

Der Tagessatz für die Bundesrepublik Deutschland liegt je nach Einstufung (2017) zwischen einem Minimum von 14.350 €/d und einem Maximum von 861.000 €/d. Der Mittelwert beträgt 438.000 €/d. Damit drohen hohe Strafzahlungen, die auch auf die kommunale Ebene durchschlagen können. In der hier angewendeten NWA wird dieser Aspekt aufgegriffen.

Es werden die Indikatoren der Tabelle 7-2 für die NWA verwendet.

In der Nutzwert-Analyse werden die Hotspot-Bereiche aus Kapitel 2 betrachtet. Für die definierten

<sup>39</sup> Als Zwangsgeld wird nachfolgend die „Summe der Tagessätze, die ein Mitgliedstaat (der EU) zu zahlen hat, wenn er einem Urteil des (Europäischen) Gerichtshofs nicht nachkommt“, bezeichnet (siehe Ausführungen in Kapitel 3).

NO <sup>2</sup> - Immissions- konzentration µg/m <sup>3</sup> im Nullfall	Strafzahlungsgefährdung		
	Wirkung der UVM-Maßnahmen		
	0 bis -1% schwache Wirkung	-1 bis -3% mittlere Wirkung	< -3% starke Wirkung
gering (0-30)	1 = keine	1 = keine	1 = keine
mittel (30 - 40)	2 = mittel	2 = mittel	1 = keine
hoch (> 40)	3 = hoch	3 = hoch	2 = mittel

PM10 Über- schreitungs- tage im Nullfall	Strafzahlungsgefährdung		
	Wirkung der UVM-Maßnahmen		
	0 bis -1% schwache Wirkung	-1 bis -3% mittlere Wir- kung	< -3% starke Wirkung
gering (0-12)	1 = keine	1 = keine	1 = keine
mittel (13 -35)	2 = mittel	2 = mittel	1 = keine
hoch (> 35)	3 = hoch	3 = hoch	2 = mittel

Tab. 7-3: Einstufung der Strafzahlungsgefährdung für NO<sub>2</sub> und PM10-Immissionen

Befolgungsgrad	
aufgrund der Maßnahmenart eingeschätzter Befolgungsgrad	
1 = hoch	> 75 - 100%
2 = mittel	> 50 - 75%
3 = gering	0 - 50%

Tab. 7-4: Einstufung des Befolgungsgrades von UVM-Maßnahmen

Verhältnismäßigkeit
1 = geringe restriktive Eingriffe in den Straßenverkehr (z. B. Einschränkungen für den Querverkehr bei Verkehrsverflüssigung, Zuflussdosierung)
1
2 = mittelstarke Eingriffe (z. B. Umleitungen, erhebliche Geschwindigkeitsbeschränkungen)
2
3 = starke Eingriffe in den Straßenverkehr, (z. B. Einfahrverbote, Citymaut)
3

Tab. 7-5: Einstufung der Verhältnismäßigkeit von UVM-Maßnahmen

Hotspot-Strecken werden der Ausgangszustand (Nullfall) und die relative Wirkung (%) nach Einführung der UVM-Maßnahme (Planfall 1) in den Wirkungsbereichen Verkehr, Umwelt, Ökonomie und Rechtsrahmen betrachtet. Die verkehrlichen Wirkungen werden aus den Tabellen der NKA für die betrachteten Strecken abgeleitet. Dasselbe gilt für

die Umweltwirkungen und die Jahreskosten aus Investitionen und Betrieb.

Die potenziellen Strafzahlungen werden als „Gefährdungsstufen“ (von 1 bis 3) abgebildet, die sich aus der Höhe der Immissionskonzentration für NO<sub>2</sub> bzw. PM10 am Hotspot im Nullfall und der Wirkung der UVM-Maßnahmen ableitet.

Dabei wird 3 mit hoher Gefährdung bezeichnet (Grenzwerte NO<sub>2</sub> / PM10 können überschritten werden, Maßnahmen in Planfall 1 reichen nicht aus, eine Überschreitung zu verhindern), 2 als mittlere Gefährdung (Grenzwerte NO<sub>2</sub> / PM10 können überschritten werden, Maßnahmen in Planfall 1 werden – im Zusammenwirken mit weiteren Maßnahmen aus dem Luftreinhalteplan – als ausreichend eingeschätzt, eine Überschreitung zu verhindern) und 1 = geringe oder keine Gefährdung (aktuelle Immissions-situation macht es unwahrscheinlich, dass Grenzwerte NO<sub>2</sub> / PM10 überschritten werden).

Aus den Ausführungen zum Rechtsrahmen (siehe Kapitel 3 des Schlussberichts) leiten sich die Einschätzungen für den Befolgungsgrad und die Verhältnismäßigkeit der UVM- Maßnahmen ab.

Beide Indikatoren werden in 3 Stufen von 1 = sehr gut (>75-100%ige Befolgung, UVM-Maßnahmen werden in der Kommune akzeptiert) bis 3 = sehr gering (0-50%ige Befolgung, UVM Maßnahmen finden keine Akzeptanz in der Bevölkerung) bewertet.

Ein hoher Befolgungsgrad der gewählten UVM-Maßnahme ist notwendig, um den Erfolg der Maßnahme zu sichern.

Verhältnismäßig sind Maßnahmen, die in der Bevölkerung mehrheitlich als notwendig anerkannt werden, um das Ziel zu erreichen.

## 7.2 Betrachtete Gebiete

### 7.2.1 Braunschweig Altewiekring

Im Untersuchungsgebiet Braunschweig Altewiekring wurden ein Nullfall und zwei Planfälle betrachtet:

- Nullfall ohne UVM-Maßnahme,
- Planfall 1 mit UVM-Maßnahme wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben, Aktivierung bei einem NO<sub>2</sub>-Schwellenwert von 80 µg/m<sup>3</sup> (instantan) und

- Planfall 2 mit UVM-Maßnahme wie in Planfall 1, jedoch mit Aktivierung bei einem  $\text{NO}_2$ -Schwellenwert von  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (instantan).

Alle drei Fälle basieren auf den realen Verkehrs- und Umweltdaten des Jahres 2015, die mit den Monitoringsystemen ermittelt wurden. Die Auswirkungen der UVM-Maßnahme wurden aus den Ergebnissen des Probebetriebs ermittelt und in einer Modellrechnung auf das gesamte Bezugsjahr übertragen.

Eine Verkehrsverlagerung auf Alternativstrecken war im Probebetrieb nicht zu beobachten, weshalb die Verkehrsstärken im Nullfall und in den Planfällen gleich angesetzt wurden. Die Fahrzeitveränderungen in UVM-Fall wurden aus den Ergebnissen der Messfahrten während des Probebetriebs abgeleitet. Dabei wurde in der Modellrechnung versucht, baustellenbedingte Einflüsse (vgl. Kapitel 2.1 in Anlagebericht 3) soweit wie möglich zu eliminieren.

Planfall 1 berücksichtigt eine Aktivierung der Maßnahme in 387 Stunden des Jahres (5 %) und Planfall 2 in 1.084 Stunden (14 %) (vgl. Kapitel 3 in Anlagebericht 3).

### 7.2.2 Erfurt

Im Untersuchungsgebiet Erfurt wurden ebenfalls ein Nullfall und zwei Planfälle betrachtet:

- Nullfall ohne UVM,
- Planfall 1 mit UVM wie in Kapitel 2.2 und in Kapitel 6.3 beschrieben, Aktivierung bei einem  $\text{NO}_2$ -Schwellenwert von  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (instantan) und
- Planfall 2 mit UVM wie in Planfall 1 jedoch mit Aktivierung bei einem  $\text{NO}_2$ -Schwellenwert von  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und einer um gegenüber Planfall 1 durch Zuflussdosierung um 15 % reduzierten Kapazität (instantan).

Alle drei Fälle basieren auf den realen Verkehrs- und Umweltdaten des Jahres 2015, die mit den Monitoringsystemen ermittelt wurden. Die Auswirkungen der UVM-Maßnahme wurden aus den Ergebnissen des Probebetriebs (Pilot I: Talstraße / Bergstraße, Pilot II: Leipziger Straße) ermittelt und in einer Modellrechnung auf das gesamte Bezugsjahr hochgerechnet.

Planfall 1 berücksichtigt eine Aktivierung der Maßnahme in 929 Stunden des Jahres (10,6%) und

Planfall 2 in 2.764 Stunden (31,6 %) (vgl. Kapitel 3 in Anlagebericht 3).

### 7.2.3 Potsdam

Für das Untersuchungsgebiet Potsdam wurden drei Planfälle abgeleitet:

- Nullfall ohne UVM
- Planfall 1 (mit UVM, wie in den Bezugsjahren 2013 und 2014 aktiv)
- Planfall 2 (mit UVM, jedoch mit häufigerer Aktivierung und größerer Eingriffsschwere)

Der Nullfall und die beiden Planfälle unterstellen das reale Potsdamer Straßennetz, in dem kaum Alternativrouten verfügbar sind (siehe Bild 6-2). Hieraus resultiert der vergleichsweise geringe Effekt der UVM-Schaltungen auf den DTV. Die Fahrleistungen und die Fahrzeiten auf den betrachteten Abschnitten sind aus einer Modellrechnung abgeleitet, die mithilfe der im Hotspot befindlichen lokalen Verkehrsdetektion sowie mithilfe von Messfahrten vor Einführung des UVM kalibriert wurde.

Der Planfall 1 bildet im Vergleich zum Nullfall die Verlagerung der Stauanteile vom Hotspot in den vorgelegerten, besser durchlüfteten Bereich auf der Nuthestraße sowie eine geringe Reduktion des DTV (großräumige Verlagerung und modale Effekte) ab.

Für den Planfall 2 wurde unterstellt, dass 50 % mehr Fahrzeuge von den Schaltungen betroffen sind als im Planfall 1. Der DTV nimmt in geringem Maß ab, die LOS3- und LOS4-Anteile gehen im Hotspot weiter zurück und nehmen vor dem Hotspot auf der Nuthestraße entsprechend zu. Diese Zunahme ist durch die häufigere UVM-Schaltung (mehr betroffene Fahrzeuge) sowie durch die größere Eingriffstiefe (stärkere Rückstauereffekte) begründet.

### 7.2.4 Lutherstadt Wittenberg

Im Untersuchungsgebiet Wittenberg wurden neben dem Nullfall und zwei Planfällen zusätzlich eine dauerhafte Schaltung des einseitigen LKW-Fahrverbotes betrachtet:

- Nullfall ohne UVM,
- Planfall 1 mit UVM wie in Kapitel 2.4.4 beschrieben, Aktivierung entsprechend der tatsächlichen Auslösetage durch die LÜSA-Diensthabenden und

- Planfall 2 mit UVM wie in Planfall 1 jedoch mit (fiktiver) automatischer Aktivierung bei einem vorhergesagten PM10-Tageswert von größer/gleich  $50 \mu\text{q}/\text{m}^3$ .
- Planfall 3 wie Planfall 1 jedoch mit fiktiver (dauerhafter) Aktivierung über das ganze Jahr.

Alle vier Fälle basieren auf den realen Verkehrs- und Umweltdaten des Jahres 2014, die mit ProFet/PROKAS<sup>online</sup> ermittelt wurden.

Planfall 1 berücksichtigt eine Aktivierung der Maßnahme an 33 Tagen des Jahres (9 %), Planfall 2 an 26 Tagen des Jahres (7 %) sowie Planfall 3 an 365 Tagen des Jahres (100 %) (vgl. Kapitel 3 in Anlagebericht 3).

## 7.3 Ergebnisse der NKA

### 7.3.1 Generelle Ergebnisse

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analyse vermittelt Tabelle 7-6.

Die Berechnungen zur NKA ermöglichen einen Blick auf die wesentlichen Komponenten einer NKA in der Anwendung auf UVM-Maßnahmen. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass zwischen dem Zeitraum der Entscheidung zugunsten eines UVM-Systems und dem Bezugsjahr für die NKA die Immissionen sowohl bei PM10 als auch bei NO<sub>2</sub> zurückgegangen sind. Eine mögliche Grenzwertproblematik besteht aktuell in den Untersuchungsgebieten nur noch bei NO<sub>2</sub>. Der Wert der Untersuchungsergebnisse bezieht sich daher auf die Auswertung der relativen Veränderungen durch die UVM-Maßnahmen unter gesamtwirtschaftlichen Ansätzen und weniger auf die Betrachtung der absoluten Zahlen.

Vor diesem Hintergrund werden die Ergebnisse für die Untersuchungsgebiete im Folgenden interpretiert. Sie zeigen auf, dass in einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung die Nutzenkomponenten des motorisierten Verkehrs mit Fahrzeit, Fahrleistung, Treibstoffverbrauch und Unfällen das Ergebnis in der Regel deutlich dominieren. Gesundheitsnutzen können allerdings nach RWS (FGSV, 2016) eine Verschlechterung der Kfz-bezogenen Nutzenkomponenten bei ausreichenden Immissionsveränderungen kompensieren. UVM-Maßnahmen, die im Schaltfall eine Immissionssenkung bei gleichbleibender Fahrleistung und / oder Fahrzeit erreichen,

schneiden in einer gesamtwirtschaftlichen Bewertung günstig ab.

UVM-Maßnahmen zur Verflüssigung des Verkehrs stehen in der gesamtwirtschaftlichen Bewertung ebenfalls gut da. Wesentlich wirken sich dann die Nutzenkomponenten Treibstoffverbrauch und CO<sub>2</sub> aus. Die Immissionssenkung durch die UVM-Maßnahmen erhöht den positiven Nutzensaldo.

Erkennbar wird auch, dass die gesamtwirtschaftliche Bewertung in der klassischen Form des Vergleichs zwischen einem Nullfall und einem oder mehreren Planfällen für die Bewertung von UVM-Maßnahmen nur begrenzt aussagefähig ist. Die eigentliche Fragestellung, die im Rahmen der Luftreinhaltung zu beantworten ist, bezieht sich auf die Alternativen einer dauerhaften Lösung versus einer dynamischen UVM-Lösung. Der Nullfall war für den Entscheidungsträger in der Regel keine Alternative, es musste gehandelt werden. In der vorliegenden Untersuchung wurde daher der Fall der „dauerhaften Lösung“, soweit sinnvoll abbildbar, als weiterer Planfall definiert und in den Planfallvergleich einbezogen.

Bei der Frage, ob eine dauerhafte Lösung in jedem Fall eine sinnvolle Alternative darstellt, muss berücksichtigt werden, dass in der Bewertung von UVM-Maßnahmen mit positivem Nutzen aus Verkehrsverflüssigung die negativen Begleiterscheinungen nur bedingt erfasst werden. So werden Auswirkungen auf Fußgänger oder ggf. auf den querenden ÖPNV z. B. durch Abschaltung der ÖPNV-Priorisierung nicht erfasst. Wäre das anders, würde der Entscheidungsträger direkt auf eine dauerhafte Lösung zusteuern. Nur in Verbindung mit negativen Begleiterscheinungen verbietet sich eine dauerhafte Lösung und eine dynamische Lösung wird begründbar.

Eine Begründung für UVM-Systeme bzw. UVM-Maßnahmen ist, dass die Verringerung der verkehrsbedingten Immissionskonzentrationen im Hotspot nur mit Verkehrsbeschränkungen erreicht werden kann. Um Verkehrsbeschränkungen mit gesamtwirtschaftlicher Relevanz zu begründen, ist der Nachweis einer ausreichend hohen Immissionsminderung die Voraussetzung. Wie noch gezeigt wird, können die Minderungserfolge in den untersuchten UVM-Systemen für eine gesamtwirtschaftliche Kompensation von Verkehrsbeschränkungen durchaus ausreichend sein.

				BS Altewiek Ring				Erfurt Leipziger Straße + Berg-/Talstraße			
Maßnahme 1				LSA zur Verkehrsverflüssigung		LSA zur Verkehrsverflüssigung		LSA zur Verkehrsverflüssigung		LSA zur Verkehrsverflüssigung	
Maßnahme 2				Pförtnerampel		Pförtnerampel		Pförtnerampel		Pförtnerampel	
Netzlänge				5.192,00 m		5.192,00 m		5.830,00 m		5.830,00 m	
Nutzen-Kosten-Rechnung (Wirkungsraum)											
Nr.	Indikator Beschreibung	Dimension	Wert	Diff. NF-PF1	Nutzen PF1	Diff. NF-PF2	Nutzen PF2	Diff. NF-PF1	Nutzen PF1	Diff. NF-PF2	Nutzen PF2
			€		€		€		€		€
1	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV Mo-Fr	[€ / [Kfz-h]	16,00	1.583,85	25.342	5.395,11	86.322	-4.218,00	-67.488	-20.475,00	-327.600
2	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV Sa	[€ / Kfz-h]	13,50	14,48	195	107,28	1.448	-58,00	-783	-844,00	-11.394
3	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV So	[€ / Kfz-h]	16,00	3,90	62	51,20	819	-75,00	-1.200	-75,00	-1.200
4	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV Mo-Fr	[€ / Kfz-h]	43,00	44,52	1.914	164,38	7.068	-156,00	-6.708	-507,00	-21.801
5	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV Sa	[€ / Kfz-h]	60,50	0,24	14	1,89	114	-6,00	-363	-31,00	-1.876
6	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV So	[€ / Kfz-h]	90,50	0,05	4	0,63	57	-9,00	-815	-9,00	-815
7	fahrleistungsbezogene Kosten für leichte Fahrzeuge LV	[€ / (Fzg* 100km)]	12,64	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
8	fahrleistungsbezogene Kosten für schwere Fahrzeuge SV	[€ / (Fzg* 100km)]	31,73	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
9	Kraftstoffverbrauch für leichte Fahrzeuge LV, Benzin	[€ / kg]	1,04	1.114,56	1.157	3.054,48	3.170	19.080,10	19.804	30.225,65	31.373
10	Kraftstoffverbrauch für leichte Fahrzeuge LV, Diesel	[€ / kg]	1,01	783,12	791	2.146,02	2.167	10.273,90	10.373	16.275,35	16.433
11	Kraftstoffverbrauch für schwere Fahrzeuge SV, Diesel	[€ / kg]	1,01	332,18	335	900,76	909	3.412,00	3.445	5.254,00	5.305
12	Unfallkosten auf Strecken	[€]	1,49	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
13	CO <sub>2</sub> -Emissionen	[€ / t]	145,00	7,04	1.021	19,26	2.793	105,92	15.358	167,97	24.356
14	Lärmbelastung	[€/LEG]	72,00	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
15	Krankheitsfälle NO <sub>2</sub> - COPD	[€ / Fall]	2.400,00	0,006419	15	0,012801	31	0,020471	49	0,041177	99
16	Krankheitsfälle PM2.5 – chron. Bronchitis	[€ / Fall]	3.800,00	0,001241	5	0,002715	10	0,012792	49	0,025583	97
17	Krankheitsfälle PM2.5 – Asthma	[€ / Fall]	1.500,00	0,017016	26	0,037228	56	0,175427	263	0,350853	526
18	Todesfälle NO <sub>2</sub> und PM2.5	[€ / Fall]	1.200.000,00	0,041265	49.518	0,082294	98.753	0,131598	157.918	0,264708	317.650
19	Schadstoffbelastung nach Stand. Bewertung	[€]	1,00	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
20	Jahreskosten aus Investitionen	[€]	0,1172	-50.000,00	-5.862	-50.000,00	-5.862	-50.000,00	-5.862	-50.000,00	-5.862
21	Betriebskosten	[€]	1,00	-10.000,00	-10.000	-10.000,00	-10.000	-10.000,00	-10.000	-10.000,00	-10.000
	<b>NKV</b>				<b>5,1</b>		<b>12,8</b>		<b>8,2</b>		<b>2,0</b>

Tab. 7-6: Ergebnisse der NKA- Teil 1

		Potsdam				Wittenberg									
Nr.	Indikator Beschreibung	Dimension	Wert	LSA zur Verkehrsverflüssigung		LSA zur Verkehrsverflüssigung		Dynamisches Lkw-Fahrverbot		Dynamisches Lkw-Fahrverbot					
				Diff. NF-PF1	Nutzen PF1	Diff. NF-PF2	Nutzen PF2	Diff. NF-PF1	Nutzen PF1	Diff. NF-PF2	Nutzen PF2	Diff. NF-PF3	Nutzen PF3	Diff. PF3-PF1	Nutzen PF3-PF1
			€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€
1	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV Mo-Fr	[€ / Kfz-h]	16,00	-1.691,60	-27.066	-26.958,53	-431.336	0,10	2	1.5862	25	-1.4902	-24		
2	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV Sa	[€ / Kfz-h]	13,50	-304,96	-4.117	-4.860,13	-65.612	0,09	1	0,8536	12	-0,7663	-10		
3	Fahrzeit für leichte Fahrzeuge LV So	[€ / Kfz-h]	16,00	-247,10	-3.954	-3.938,01	-63.008	0,01	0	0,0714	1	-0,0635	-1		
4	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV Mo-Fr	[€ / Kfz-h]	43,00	-89,03	-3.828	-1.418,87	-61.011	-551,30	-23.706	-5.809,4249	-249.805	5.258,1232	226.099		
5	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV Sa	[€ / Kfz-h]	60,50	-16,05	-971	-255,80	-15.476	0,00	0	-951,2149	-57.549	878,1956	53.131		
6	Fahrzeit für schwere Fahrzeuge SV So	[€ / Kfz-h]	90,50	-13,01	-1.177	-207,26	-18.757	0,00	0	-649,7385	-58.801	602.5520	54.531		
7	fahrlleistungsbezogene Kosten für leichte Fahrzeuge LV	[€ / (Fzg*100km)]	12,64	3.387,800	42.822	5.079	64.201	0,08	1	0,9700	12	-0,8900	-11		
8	fahrlleistungsbezogene Kosten für schwere Fahrzeuge SV	[€ / (Fzg*100km)]	31,73	178,310	5.658	267.320	8.482	-176,09	-5.587	-145,10	-4.604	-1.937,09	1.761,00	55.877	
9	Kraftstoffverbrauch für leichte Fahrzeuge LV, Benzin	[€ / kg]	1,04	19.810,000	20.562	23.375,243	24.263	-372,9800	-387	321,96	334	2.292,3596	2.379	-2.767	
10	Kraftstoffverbrauch für leichte Fahrzeuge LV, Diesel	[€ / kg]	1,01	13.410,000	13.540	16.838,743	17.002	-353,2725	-357	304,9439	308	2.171,2100	2.192	-2.549	
11	Kraftstoffverbrauch für schwere Fahrzeuge SV, Diesel	[€ / kg]	1,01	3.349,000	3.381	4.363,607	4.406	-3.811,9596	-3.849	-4.298,3688	-4.340	-55.705,7307	-56.245	51.893,7711	
12	Unfallkosten auf Strecken	[€]	1,49	8.769,252	13.066	13.144,836	19.586	-665	-991	-818	-7.323	-10.912	6.658	9.921	
13	CO <sub>2</sub> -Emissionen	[€ / t]	145,00	118,470	17.178	145.949	21.163	-14,41	-2.090	-1.694	-163	-23.635	149	21.546	
14	Lärmbelastung	[€ / LEG]	72,00	0	0	0	0	26,45	1.905	1.611	-55,79	82,24	5,922		
15	Krankheitsfälle NO <sub>2</sub> - COPD	[€ / Fall]	2.400,00	0,002226	5	0,003181	8	-0,022302	-54	-0,022421	-54	-0,009324	-22		
16	Krankheitsfälle PM2.5 - chron. Bronchitis	[€ / Fall]	3.800,00	0,000590	2	0,000884	3	-0,008419	-32	-0,008445	-32	-0,005136	-20		
17	Krankheitsfälle PM2.5 - Asthma	[€ / Fall]	1.500,00	2,007361	3.011	2,011115	3.017	-0,115456	-173	-0,115820	-174	-0,070432	-106		
18	Todesfälle NO <sub>2</sub> und PM2.5	[€ / Fall]	1.200.000,00	0,014310	17.172	0,020448	24.538	-0,122496	-146,995	-149,173	-19,063	-0,106610	-127,932		
19	Schadstoffbelastung nach Stand. Bewertung	[€]	1,00	1.426,44	1.426	2.138,61	2.139	-704,04	-704	-580,20	-580	-7.744,48	7.040,44		
20	Jahreskosten aus Investitionen	[€]	0,117	-50.000	-5.862	-50.000	-5.862	-20.000,00	-2.345	-20.000,00	-2.345	-20.000,00	-2.345		
21	Betriebskosten	[€]	1,00	-10.000	-10.000	-10.000	-10.000	-5.000,00	-5.000	-5.000,00	-5.000	-5.000,00	-5.000		
	<b>NKV</b>				<b>6,0</b>		<b>-29,5</b>				<b>-24,8</b>		<b>47,1</b>		

Tab. 7-7: Ergebnisse der NKA-Teil 2

### 7.3.2 NKA für Braunschweig

Die NKA für Braunschweig bezieht sich auf den Altwiekering mit einer Länge von ca. 5,2 km (Summe der Fahrtrichtungen). Als Maßnahme wurde eine veränderte Signalsteuerung, die auf diesem Streckenzug zu einer Verflüssigung des Kfz-Verkehrs führt, in Kombination mit einer Zuflussdosierung bewertet.

Grenzwertüberschreitungen traten im Bezugsjahr weder für PM10 noch für NO<sub>2</sub> auf, weshalb das entwickelte System bisher, bis auf einen Versuchsbetrieb, nicht zum Einsatz gekommen ist. Die für die NKA relevanten PM2.5-Immissionskonzentrationen lagen im Nullfall an den höchstbelasteten Strecken zwischen 12 µg/m<sup>3</sup> und 13 µg/m<sup>3</sup>, die von NO<sub>2</sub> knapp unter dem Jahresgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Es wurden zwei Planfälle definiert, wobei Planfall 2 eine gegenüber Planfall 1 deutlich höhere Schalthäufigkeit aufweist.

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) ist für beide Planfälle positiv.

Für Planfall 1 wurde ein NKV von 5,1 ermittelt, sodass der Planfall gesamtwirtschaftlich günstig ausfällt. Das hohe NKV beruht im Wesentlichen auf einem hohen Gesundheitsnutzen sowie auf Fahrzeitverbesserungen und Kraftstoffeinsparungen durch einen flüssigeren Verkehrsablauf. Die Fahrleistungen für den Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) ändern sich nicht. Deshalb bleiben auch die Unfallkosten gleich. Die Kraftstoffeinsparung führt zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Veränderungen der Lärmbelastungen wurden als gering eingeschätzt, sodass dieser Indikator nicht in die NKA eingeflossen ist.

Für Planfall 2 wurde mit einem NKV von 12,8 ein noch günstigeres Ergebnis berechnet. Das System ist gemäß NKA gesamtwirtschaftlich sinnvoll, wobei im Wesentlichen dieselben Indikatoren wie für Planfall 1 maßgebend sind. Sofern nicht gewichtige Gründe, die in der NKA nicht berücksichtigt sind, gegen die Schalthäufigkeit von Planfall 2 sprechen, wäre die Realisierung von Planfall 2 zu befürworten. Dagegen sprechen jedoch die in der NKA nicht berücksichtigten negativen Einflüsse der UVM-Maßnahme auf den Fuß- und Radverkehr sowie der Wunsch der Stadt Braunschweig, den Verkehr am Knoten Jasperallee aus „Komfortgründen“ möglichst 3-phasig abzuwickeln.

### 7.3.3 NKA für Erfurt

Im Untersuchungsgebiet Erfurt wurden die Straßenzüge Berg- / Talstraße (Länge ca. 0,8 km, Einbahnstraße) sowie Leipziger Straße (Länge ca. 5,1 km, Summe der Fahrtrichtungen) zu einem Wirkungsgebiet zusammengefasst und untersucht. Als Maßnahme wurde eine veränderte Signalsteuerung, die der Verflüssigung des Verkehrs der Haupttrichtungen dient, implementiert. Ergänzend wurde eine Zuflussdosierung bei der Einfahrt in das System realisiert.

Grenzwertüberschreitungen traten im Bezugsjahr weder für PM10 noch für NO<sub>2</sub> auf. Unabhängig davon ging das entwickelte System aus gesamtstädtischen Überlegungen in Betrieb. Das Steuerungsprinzip soll zukünftig auf das gesamte Stadtgebiet ausgedehnt werden.

Für das Untersuchungsgebiet wurden für den Abschnitt Berg-/ Talstraße Immissionskonzentrationen von PM2.5 aus den Werten für PM10 abgeleitet. Für die Leipziger Straße wurden nur NO<sub>2</sub>-Konzentrationen berechnet, sodass hier die Gesundheitsnutzen ohne PM2.5 berechnet wurden.

Die Immissionskonzentrationen von PM10 lagen im Nullfall an den höchstbelasteten Strecken etwas über 20 µg/m<sup>3</sup>, die von NO<sub>2</sub> mit 38 µg/m<sup>3</sup> knapp unter dem Jahresgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Es wurden zwei Planfälle definiert, wobei Planfall 2 eine gegenüber Planfall 1 höhere Schalthäufigkeit aufweist.

In beiden Fällen ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) aufgrund der hohen Gesundheitsnutzen deutlich positiv. Damit können die negativen Wirkungen der Zuflussdosierung auf die Fahrzeiten überkompensiert werden.

Die Fahrleistungen bleiben gleich.

Im Saldo ergaben sich aufgrund der Verflüssigung des Verkehrs erhebliche Kraftstoffeinsparungen, sodass auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Nullfall deutlich zurückgehen.

Weil es keine Verlagerungen von Verkehr gibt, bleiben die Unfallkosten gleich, die Differenz zum Nullfall wird 0.

Die Lärmbelastungen wurden wegen fehlender Verlagerungen in der NKA nicht berücksichtigt.

Bei höherer Schalthäufigkeit steigt in beiden Straßenzügen der Nutzen für die Gesundheit der Bevölkerung, jedoch nehmen die Fahrzeiten noch stärker zu, sodass das NKV sinkt.

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der realisierte Planfall 1 gegenüber einer höheren Schalthäufigkeit in Planfall 2 zu bevorzugen.

#### 7.3.4 NKA für Potsdam

Im Untersuchungsgebiet Potsdam wurde die Behlertstraße mit 3,2 km Länge (Summe beider Fahrrichtungen) im Rahmen der NKA analysiert. Die UVM-Maßnahme besteht in einer Zufussdosierung und einer dynamisch veränderten Signalsteuerung, die innerhalb des Streckenzuges einen flüssigen Verkehrsablauf gewährleistet. Innerhalb des Streckenzuges nehmen die Fahrzeiten ab. Die Hauptwirkung im Hotspot Behlertstraße besteht in der Verschiebung des Verkehrszustands Stop+Go in den besser durchlüfteten Bereich vor dem Hotspot (Nuthestraße).

Grenzwertüberschreitungen traten im Bezugsjahr weder für PM10 noch für NO<sub>2</sub> auf dem Streckenzug auf.

Die höchsten Immissionskonzentrationen lagen im Nullfall für NO<sub>2</sub> mit 38 µg/m<sup>3</sup> knapp unter dem Jahreshwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Analog zu den anderen Untersuchungsgebieten wurde ein Planfall 2 definiert, wobei dieser Planfall eine gegenüber Planfall 1 höhere Schalthäufigkeit aufweist.

In beiden Planfällen steigen die Fahrzeiten an. Die negativen Fahrzeit-Nutzen werden jedoch durch eine geringere Fahrleistung und die daraus resultierenden Folgeeffekte überkompensiert.

Die Gesundheitsnutzen sind positiv, allerdings in geringerem Umfang als bei den zuvor analysierten Untersuchungsgebieten Braunschweig und Erfurt.

Der Umstand, dass die Fahrleistung bereits im Planfall 1 deutlich und in Planfall 2 noch stärker abnimmt, kann mehrere Ursachen haben. Eine mögliche Verlagerung von Verkehren auf Alternativrouten außerhalb des Wirkungsraums scheidet weitgehend aus. Denkbar ist ein modaler Shift an Tagen mit Schaltung. Auch könnten sich vermehrt Fahrgemeinschaften gebildet haben. Möglich wäre auch, dass die aus dem Umland einpendelnden Personen

auf einzelne Fahrten verzichtet haben und es auf diese Weise zu einer geringeren Fahrleistung gekommen ist.

Die verringerten Fahrleistungen führen in beiden Fällen zu positiven Nutzen bei den fahrleistungsbezogenen Kosten, beim Kraftstoffverbrauch, bei den Unfallkosten und bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Lärmbelastungen wurden wegen fehlender Relevanz in der NKA nicht berücksichtigt.

Gesundheitsnutzen und Fahrleistungsreduktion führen im realisierten Planfall 1 zu einem NKV deutlich über 1. In Planfall 2 ergibt sich aufgrund der höheren Schalthäufigkeit durch ein angenommenes Absenken der Schaltschwelle ein negativer Nutzensaldo und entsprechend ein negatives NKV. Die Gesundheitswirkungen steigen zwar an, aber nicht derart, dass sie die negativen Effekte aus dem höheren negativen Fahrzeitsaldo kompensieren könnten.

Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht ist der realisierte Planfall 1 gegenüber einer höheren Schalthäufigkeit in Planfall 2 zu bevorzugen.

#### 7.3.5 NKA für die Lutherstadt Wittenberg

Das Untersuchungsgebiet Wittenberg repräsentiert den Fall, dass als UVM-Maßnahme eine dynamische Umleitung des Lkw-Verkehrs geschaltet wird. Es wurde ein einfaches System mit Klapptafeln implementiert, die Klapptafeln für die Lkw-Umleitung werden manuell aktiviert und deaktiviert. Die untersuchte Streckenlänge im Wirkungsraum beträgt 10,9 km (Querschnitt), bzw. 21,8 km (Summe beider Richtungen). Im Nullfall fließt der Lkw-Verkehr hauptsächlich auf der Dessauer Straße (B 187), umgeleitet wird (nur eine Richtung) auf den deutlich längeren Streckenzug Möllendorferstraße, Rothe-markstraße und Dobschützstraße. Die Umleitung endet an der Einmündung zur B2.

Grenzwertüberschreitungen traten im Bezugsjahr für PM10 auf dem Streckenzug nicht mehr auf. In den Jahren davor waren Grenzwertüberschreitungen für PM10 aufgetreten, die zum Betrieb des entwickelten Systems führten.

Bei NO<sub>2</sub> liegen die Immissionskonzentrationen unterhalb des Grenzwertes; der höchste auf einer Strecke des Wirkungsraums ausgewiesene Wert beträgt 34 µg/m<sup>3</sup>.

Im Gegensatz zu den anderen Untersuchungsgebieten wurde ein Planfall 2 definiert, der gegenüber Planfall 1 eine geringere Schalthäufigkeit bei gleicher Wirkung auf die PM10-Tagesgrenzwertüberschreitung wie Planfall 1 aufweist. Zusätzlich wurde ein Planfall 3, der die dauerhafte Umleitung abbildet, definiert. Damit war auch ein Vergleich zwischen dem realisierten Fall (Planfall 1) und einer dauerhaften Lösung (Planfall 3) möglich.

Durch die Lkw-Umleitung sinken die Fahrzeiten der nicht umgeleiteten Fahrzeuge geringfügig, während die Fahrzeiten des Schwerverkehrs deutlich anwachsen. Zugleich erhöht sich die Fahrleistung des Schwerverkehrs erheblich. Das hat gravierende Folgen: im Saldo sind, mit Ausnahme der Nutzen aus Lärmbelastungen, alle Nutzenkomponenten negativ. Die höheren Fahrleistungen führen zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch und höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Unfallkosten nehmen zu. Da die Verlagerung des Lkw-Verkehrs im Saldo keine Immissionsverbesserung bringt, sind auch die Gesundheitsnutzen negativ. Diese Aussage gilt auch für die Planfälle 2 und 3.

Insgesamt ergibt sich ein deutlich negatives NKV, was den Interpretationsbedarf einer NKA nach den standardisierten Methoden im Verkehrswesen aufzeigt. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht der RWS würden die Planfälle 1, 2 und 3 keine Realisierungschance haben.

Wenn jedoch die Gesetzeslage ein Handeln erfordert, müssen gesamtwirtschaftliche Aspekte ggf. zurücktreten. Denn eine Lösung war im Falle von Wittenberg zur Zeit der Grenzwertüberschreitungen bei PM10 zwingend erforderlich. Damit ging es nicht um das ob sondern um das wie. Als Alternative zur dynamischen Umleitung, die nur an den Tagen hoher zu erwartender Immissionskonzentrationen geschaltet wird, stand eine dauerhafte Umleitung gegenüber. Dieser Fall wird durch den Vergleich von Planfall 1 mit Planfall 3 abgebildet.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei diesem Vergleich die geringeren Reisezeiten für den Schwerverkehr und die geringeren Fahrleistungen mit ihren Folgewirkungen den Großteil der Nutzen darstellen. Die Gesundheitsnutzen sind bei diesem Vergleich positiv. Insgesamt ergibt sich ein hohes positives NKV, das den Vorteil des realisierten Planfalls gegenüber einer dauerhaften Umleitung aufzeigt.

## 7.4 NWA, alle Untersuchungsgebiete

Die Ergebnisse der NWA sind in Tabelle 78 zusammengestellt. Im Folgenden werden die quantitativen und qualitativen Ergebnisse erläutert und kommentiert.

### 7.4.1 Bereich Verkehr

Aus den Wirkungsbereichen der Maßnahmenanalyse aus Kapitel 7.2 werden die ausgewiesenen Hotspots verwendet, die sich damit für eine Bewertung des „Erfolgs“ der UVM-Maßnahmen anbieten.

#### Verkehrsverflüssigung

Alle Untersuchungsgebiete erzielen eine Verbesserung der abschnittsbezogenen Fahrzeiten, was auf einen gleichmäßigeren Verkehrsablauf an den Hotspots hinweist. Der Verkehrsablauf wird aufgrund der Maßnahmenschaltungen flüssiger. Staus werden abgebaut. Besonders erfolgreich waren die UVM-Maßnahmen an den Hotspotstrecken von Erfurt und Potsdam. In beiden Fällen wurden die Staustrrecken in weniger sensible Bereiche vor den Hotspots verlagert, sodass sich eine entsprechende Entlastung der Hotspot Strecken von Stau ergab.

#### Fahrleistung

Die UVM-Maßnahmen bringen keine wesentliche Fahrleistungsänderung an den Hotspots. Im Untersuchungsgebiet Potsdam Behlertstraße geht die Fahrleistung geringfügig zurück (Kommentar siehe Kapitel 7.2.3). Im Untersuchungsgebiet Wittenberg führt die Lkw-Umleitung im Schaltfall zu einer Verringerung der Fahrleistung auf der Dessauerstraße. In den beiden anderen Untersuchungsgebieten Braunschweig und Erfurt ändert sich die Fahrleistung nicht.

#### Kraftstoffverbrauch

In allen Untersuchungsgebieten führen die Maßnahmen an den Hotspot-Strecken zu einem geringeren Verbrauch. Am stärksten zeigen sich die Rückgänge an den Hotspots von Erfurt und Potsdam.

### 7.4.2 Bereich Umwelt

#### Lärmbelastung

Auswirkungen auf die Lärmbelastung wurden nur in Wittenberg betrachtet. Aufgrund der dynamischen Umleitung des Lkw-Verkehrs gibt es eine Lärmentlastung (es wurde für die NWA nur der nächtliche Lärm betrachtet). Mit einer Verbesserung von weni-

			BS Altwiek Ring	Erfurt Leipziger Straße + Berg-/Talstraße	Potsdam Behlerstraße	Wittenberg Dessauerstraße
			LSA zur Verkehrsverflüssigung / Pförtnerrampe	LSA zur Verkehrsverflüssigung / Pförtnerrampe	LSA zur Verkehrsverflüssigung / Pförtnerrampe	Dynamisches LKW-Fahrverbot, Verkehrsumleitung
Bereich	Indikator Beschreibung	Dimension				
Verkehr	Länge des Hot Spot (Richtungen)	[m]	999	540	420	659
	Fahrzeit im Nullfall	[Kfz*h/a]	183.549	132.103	183.812	92.789
	... im Planfall 1	[%]	-3,34%	-61,89%	-21,51%	-0,21%
	Fahrleistung im Nullfall	[Fzg*km/a]	4.679.428	1.755.016	2.636.991	3.337.725
	... im Planfall 1	[%]	0,00%	0,00%	-2,31%	-0,21%
	Kraftstoffverbrauch im Nullfall	[t/a]	327,18	164,65	182,82	227,73
... im Planfall 1	[%]	-0,22%	-15,62%	-5,14%	-0,67%	
Umwelt	Anzahl wohnende Personen	[-]	380	450	131	321
	Lärm-Einwohner-Gleichwert nachts im Nullfall	[LEQ]	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	529
	... im Planfall 1	[%]	nicht relevant	nicht relevant	nicht relevant	-0,76%
	PM10-Anzahl der Überschreitungstage im Nullfall	[-]	nicht berechnet	nicht berechnet	nicht berechnet	28
	... im Planfall 1	[-]	nicht berechnet	nicht berechnet	nicht berechnet	-7,14%
	PM2,5 - Emissionen im Nullfall	[t/a]	0,1773	0,1340	0,0807	0,1230
	... im Planfall 1	[%]	-1,16%	-22,39%	-3,15%	0,00%
	NO <sub>2</sub> - Emissionen im Nullfall	[t/a]	0,5575	0,3000	0,2699	0,4170
	... im Planfall 1	[%]	-1,28%	-17,33%	-5,14%	-0,72%
	CO <sub>2</sub> -Emissionen im Nullfall	[t/a]	1.032,8	545,3	591,0	720,1
	... im Planfall 1	[%]	-0,22%	-15,19%	-5,05%	-0,68%
	PM2,5-Immissionskonzentrationen im Nullfall	[µg/m <sup>3</sup> ]	12,3	18,7	20,0	18,3
... im Planfall 1	[%]	-0,88%	-3,85%	-0,44%	0,00%	
NO <sub>2</sub> -Immissionskonzentrationen im Nullfall	[µg/m <sup>3</sup> ]	39,9	38,0	36,8	34,8	
... im Planfall 1	[%]	-3,66%	-2,63%	-2,53%	-0,57%	
Ökonomie	Jahreskosten aus Investitionen	[€]	5.862	5.862	5.862	2.345
	Betriebskosten	[€]	10.000	10.000	10.000	5.000
	Strafzahlungsgefährdung	[-]	3	3	2	2
Rechtsrahmen	Befolgungsgrad der Maßnahmen	[-]	1	1	1	2
	Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen	[-]	1	1	1	1

Tab. 7-8: Ergebnisse der NWA für die Hotspots

ger als 1 % ist der Verbesserungserfolg allerdings gering.

### PM10-Anzahl der Überschreitungstage

Dieser Indikator wurde nur für das Untersuchungsgebiet Wittenberg ausgewiesen. Aufgrund der Lkw-Umleitung konnte die Anzahl der PM10 Überschreitungstage um 7 % (2 Überschreitungstage weniger) reduziert werden.

### PM2.5-Emissionen

Die UVM-Maßnahmen bewirken mit Ausnahme von Wittenberg an allen Hotspot-Strecken eine Verringerung der PM2.5-Emissionen. Die Reduktionen bewegen sich zwischen 1 % (Braunschweig), 3 % (Potsdam) und 22 % (Erfurt). In Wittenberg ergibt sich keine Änderung.

### NO<sub>2</sub>-Emissionen

Hier erreichen die UVM-Maßnahmen im Bereich der Hotspot-Strecken bei allen Untersuchungsgebieten Verbesserungen. Sie liegen zwischen 1 % (Braunschweig und Wittenberg), 5 % (Potsdam) und 17 % (Erfurt).

### CO<sub>2</sub>-Emissionen:

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind mit den Fahrleistungen und dem Verkehrsablauf korreliert. In allen Untersuchungsgebieten führen die UVM-Maßnahmen zu einer Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die stärkste Abnahme verzeichnet Erfurt (-15 %) vor Potsdam (-5 %), Wittenberg (-1 %) und Braunschweig mit weniger als 1 % Reduktion.

### PM2.5-Immissionskonzentrationen

Die PM2,5-Immissionskonzentrationen bewegen sich im Bereich der Hotspot Strecken zwischen 12 (Braunschweig) und 20 (Potsdam)  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sie liegen damit deutlich unter dem Grenzwert von 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mit den UVM-Maßnahmen wird erreicht, dass die PM2.5-Immissionskonzentrationen im Jahresdurchschnitt sinken. Am stärksten ist dies der Fall an den Hotspot Strecken von Erfurt (-4 %).

### NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen

Die NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen bewegen sich an den Hotspot Strecken zwischen 34 (Wittenberg) und 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Braunschweig), somit am oder relativ nahe am NO<sub>2</sub>-Jahresgrenzwert. Mit den UVM-Maßnahmen wird erreicht, dass die NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen an den Hotspot-Strecken im Jahresdurchschnitt sinken. Die Reduktion liegt zwischen weniger als 1 % (Wittenberg) und 3 bis 4 % (Braunschweig).

### Bereich Wirtschaftlichkeit

Die Jahreskosten der komplett dynamischen UVM-Systeme wurden mit ca. 16 T€ eingeschätzt, die Jahreskosten des einfacheren Systems in Wittenberg mit ca. 7 T€ bis 8 T€. Stellt man „Strafzahlungen“ der EU dagegen, wird deutlich, dass sich das Engagement für UVM lohnt, wenn damit Strafzahlungen vermieden werden. Mit den in den Untersuchungsgebieten realisierten UVM-Maßnahmen werden kleine Verbesserungen der Luftschadstoffbelastung im Jahresdurchschnitt erreicht. Diese Verbesserungen können in Fällen einer drohenden Grenzwertüberschreitung ausreichend sein, diese zu verhindern oder den Abstand zum Grenzwert zu erhöhen.

#### 7.4.3 Bereich Rechtsrahmen

Die Bewertung der UVM-Maßnahmen nach den Indikatoren, die den Rechtsrahmen beschreiben, ergab folgendes Ergebnis:

#### Strafzahlungsgefährdung

Sie wird anhand der NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen behandelt. Aufgrund der Ausgangssituation sind die Untersuchungsgebiete Braunschweig und Erfurt einer höheren Gefährdung ausgesetzt als die beiden anderen Gebiete. Um eine Grenzwertüberschreitung zu verhindern, ist der Einsatz des UVM dort notwendig.

#### Befolgungsgrad der Maßnahmen

Befolgungsgrade wurden in den Untersuchungsgebieten nicht untersucht. Bei den eingesetzten Maß-

nahmen<sup>40</sup> ist jedoch ein hoher Befolgungsgrad anzunehmen. Eine Ausnahme könnte die Lkw-Umleitung in Wittenberg darstellen, weil nur der durchgehende Lkw-Verkehr umgeleitet werden kann und die Kontrolle des Durchgangsverkehrs schwierig bzw. aufwändig ist.

### Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen

Die umgesetzten Maßnahmen können als verhältnismäßig eingestuft werden. Die Verhältnismäßigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass gegen die Maßnahmen nicht geklagt wurde. Die UVM-Maßnahmen sind offenbar ausreichend ausbalanciert und werden von der Bevölkerung mehrheitlich akzeptiert.

Bei einer noch stärkeren Zuflusssdosierung mit Rückstau in Nachbarorte, übermäßigen Wartezeiten für die Verkehrsteilnehmer und Einbußen für die regionale Wirtschaft müsste die Verhältnismäßigkeit neu geprüft werden.

## 8 Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen

### 8.1 Definition und Aufbau von UVM-Systemen

Zunächst ist festzuhalten, dass UVM-Systeme technische Systeme sind, mit welchen auf Basis von verkehrlichen und umweltrelevanten Daten temporäre, verkehrsorganisatorische Maßnahmen „geschaltet“ werden können, die zu einer Verringerung der Luftschadstoffbelastung an Hotspots führen sollen, ohne neue Betroffenheiten von Grenzwertüberschreitungen in anderen Bereichen zu schaffen.

UVM-Systeme sind somit keine Luftreinhaltemaßnahme im eigentlichen Sinn, sondern technische Systeme zur temporären/dynamischen Umsetzung von Luftreinhaltemaßnahmen. Die nutzbaren Luftreinhaltemaßnahmen werden in Voruntersuchungen (i. Allg. sind das die Arbeiten zu den Luftreinhalteplänen) abgeleitet.

Eine temporäre und damit dynamische Schaltung der entsprechenden Maßnahmen durch UVM-Systeme ist immer dann angezeigt, wenn eine dauerhafte Umsetzung der Maßnahmen aus der Abwä-

<sup>40</sup> Im Wesentlichen Anpassungen an den Lichtsignalsteuerungen

	Braunschweig	Erfurt	Potsdam	Wittenberg
Verkehrsmodell	ViBS <sup>mt</sup>	VISUM	-	-
Emissionsmodell	IMMIS <sup>em</sup>	HBEFA (Umweltmodul in Vorbereitung)	IMMIS <sup>em</sup>	-
Verkehrsstärke	Verkehrsmodell	Verkehrsmodell, mit integrierter Detektion an LSA und Messquerschnitten	Detektion mit TEU	Über statischen Wochengang
Kfz-Arten	Unterscheidung nach Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und Schwerverkehr im Verkehrsmodell. Zzgl. Linienbusse lt. Fahrplan, Anteile Krad, Reisebusse pauschal	Unterscheidung Pkw und Lkw im Verkehrsmodell und an Messquerschnitten, weitere pauschal	Unterscheidung Pkw und Lkw über Länge aus TEU-Daten. Weitere pauschal.	Unterscheidung Pkw und Lkw
Flottenzusammensetzung	HBEFA	HBEFA, lokal angepasst	regional angepasst	-
Verkehrszustand (LOS)	Verkehrsmodell	Verkehrslagesystem OPTIMA (Verkehrsmodell)	Fundamentaldiagramm aus TEU-Daten	-
Ausbreitungsmodellierung	IMMIS <sup>net</sup> IMMIS <sup>cpb</sup>	(Umweltmodul in Vorbereitung)	IMMIS <sup>net</sup> IMMIS <sup>cpb</sup>	-
Meteorologie	LUEN, METAR	Messdaten an 4 Messstationen	LFU, METAR	DWD, LAU
Hintergrundbelastung	Messdaten an 2 Hintergrundmessstation	Messdaten an 2 Hintergrundmessstationen	Messdaten an 2 Hintergrundmessstationen	Messdaten an 1 Hintergrundmessstation
Vorhersagemodelle	Verkehr, Meteorologie und Vorbelastung (Statistik) und daraus Immission in Hotspots	Verkehr (Kurzfristvorhersage)	-	Meteorologie und Vorbelastung und daraus Immission (Tages- und Vortagesvorhersage über statistisches Modell ProFet)

Tab. 8-1: Übersicht über die Eingangsdaten und Modelle im Online-Betrieb in den Untersuchungsgebieten

gung mit anderen Aspekten (z. B. Mobilität, Wirtschaft, Klimaschutz etc.) nicht umsetzbar ist.

Zusätzlich können solche Systeme auch zur Information von Behörden und Öffentlichkeit über die verkehrliche und die Luftschadstoffsituation sowie zur quantitativen Evaluierung der Maßnahmenwirkung dienen.

Wesentliche Komponente der UVM-Systeme ist das sog. Umweltmodul (siehe auch Bild 11), welches zur räumlichen und zeitlichen Überwachung bzw. Vorhersage von Luftschadstoffkonzentrationen notwendig ist. Dies kann auf Basis von Luftmessdaten oder einer Kombination von Messdaten und Modellrechnungen erfolgen. Für die Einbeziehung von Vorhersagen in die Maßnahmen-schaltung sind zwingend Vorhersagemodelle notwendig. Dies können statistische Modelle oder Emissions- und Ausbreitungsmodelle sein.

Neben einem Umweltmodul sind in einem UVM-System ggf. weitere Module nötig. Dies betrifft insbesondere ein Verkehrsmodell bei Systemen, die auf einem stadtweiten Online-Monitoring basieren. Ein solches Verkehrsmodell kann dabei detektions- und/oder verkehrsmodellbasiert arbeiten.

Tabelle 8-1 gibt eine zusammenfassende Übersicht über die im Online-Betrieb verwendeten Eingangsdaten und eingesetzten Modelle in den in diesem Projekt betrachteten Untersuchungsgebieten.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass diese Systeme im Realbetrieb zuverlässig laufen, Luftschadstoff-Minderwirkungswirkungen entfalten und in den betroffenen Städten von Behörden, Wirtschaft und Bürgern akzeptiert sind.

## 8.2 Maßnahmen

### 8.2.1 Übersicht von Maßnahmen für UVM-Systeme

Folgende Maßnahmen wurden in UVM-Systemen, die sich im operationellen Betrieb befinden, bereits umgesetzt oder sind für in Umsetzung befindliche Systeme geplant:

- M1: dynamisch geschaltetes Lkw-Fahrverbot,
- M2: dynamische Verkehrsumleitungen / Alternativrouten,
- M3: dynamische Maßnahmen an LSA zur Verkehrsverflüssigung,
- M4: dynamische Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit,
- M5: dynamische Zuflussdosierung und
- M6: Informationen zur aktuellen Situation / Empfehlungen zur Nutzung des ÖPNV über Informationstafeln

Die folgenden verkehrsorganisatorischen Maßnahmen wären geeignet, ebenfalls mithilfe eines UVM-Systems dynamisch umgesetzt zu werden:

- M7: dynamisch geschaltetes Fahrverbot,
- M8: dynamische Einfahrverbote für Diesel-Kraftfahrzeuge,
- M9: dynamische Einfahrverbote für Fahrzeuge ohne „Blaue Plakette“,
- M10: dynamische Sperrung der Umweltzone für den allgemeinen Kfz-Verkehr und
- M11: Einführung einer dynamischen City-Maut, um weniger motorisierten Individualverkehr in der Umweltzone fahren zu lassen.

Die Maßnahmen M1 und M7 bis M11 sind dabei harte Maßnahmen, die bei entsprechender Befolgung ein sehr hohes Minderungspotenzial für Luftschadstoffbelastungen aufweisen können. Die rechtliche Zulässigkeit der Maßnahmen M7 bis M11 ist derzeit noch im Rechtsstreit. Insbesondere zu den Fahrverboten sei auf die aktuell laufende Rechtsprechung verwiesen. Auch ist eine entsprechende Kontrolle/Überwachung der Einhaltung dieser Fahrverbote bzgl. der Entfaltung der Minderungswirkung substantiell aber derzeit noch nicht geklärt.

Die Verknüpfung des UVM mit einem umfangreichen Informationsmanagement leistet einen we-

sentlichen Beitrag zur Akzeptanz der eingeleiteten Maßnahmen und führt bei vorausschauender Information zu zusätzlichen Verhaltensänderungen bei den Verkehrsteilnehmern. Bei frühzeitiger Information (Tag+1) hat der Verkehrsteilnehmer die Möglichkeit des Verzichts auf den eigenen Pkw zugunsten des Umweltverbands, einer veränderten Zielwahl sowie einer zeitlichen Verschiebung seiner Aktivitäten.

Die Information an strategischen Entscheidungspunkten im Hauptverkehrsstraßennetz (außerorts und innerorts) kann in Abhängigkeit von den Zielstellungen und Rahmenbedingungen der jeweiligen Gebietskörperschaft einen Beitrag für großräumige Verkehrsverlagerungen leisten.

Auf der anderen Seite kann es, insbesondere bei der Maßnahmenkombination M3 und M5 auch sinnvoll sein, die Verkehrsteilnehmer gerade nicht über eine aktivierte UVM-Maßnahme zu informieren, um unerwünschte Verlagerungswirkungen zu vermeiden.

### 8.2.2 Evaluierungen von Maßnahmen

In den UG Potsdam, Erfurt, Wittenberg und der Steiermark konnten die Maßnahmen bezüglich ihrer Wirkungen im Realbetrieb über ein oder mehrere Jahre evaluiert werden. In Braunschweig fanden Maßnahmenschaltungen am Altewiekring bislang lediglich während eines 6-wöchigen Probetriebs statt. Daten aus dem Verkehrs- und Umweltmonitoring liegen aber ebenfalls für mehrere Jahre vor. Die Maßnahmen für die Hildesheimer Straße in Braunschweig wurde ausschließlich mittels Modellrechnungen untersucht.

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Evaluierungsuntersuchungen zeigen an den zu schützenden Straßenabschnitten Minderungen der Luftschadstoffkonzentrationen relativ zu einem Nullfall ohne Maßnahmenschaltung auf. Diese sind als Übersicht in Tabelle 8-2 für den jeweiligen Referenzfall und in Tabelle 8-3 für einen planerisch optimierten Fall zusammengestellt.

Die Minderung durch die bisher umgesetzten Maßnahmen wie Zuflussdosierung oder Verflüssigung des Verkehrs, die direkt auf NO<sub>2</sub> ausgelegt sind, liegen bei den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten im einstelligen Prozentbereich. Sie sind abhängig von der umgesetzten Eingriffstiefe und der durch Auslöseschwellen definierte Aktivierungsraten sowie der vor Um-

Kriterien	Wirkungen im Hotspot		Wirkungen in der Umgebung Änderung (relativ)	Auswirkung auf Außerortsnetz
	AR	Minderung (relativ)		
Braunschweig: Altewiekring	5 %	NO <sub>2</sub> : 0,9 µg/m <sup>3</sup> / (1,1 %)	keine	Keine Relevanz
Braunschweig: Hildesheimer Straße	8,2 %	NO <sub>2</sub> : 1 µg/m <sup>3</sup> / (2,5 %)	Erhöhung auf Ausweichrouten NO <sub>2</sub> : 0,1 µg/m <sup>3</sup> / (0,1 %) bzw. 0,1 µg/m <sup>3</sup> / (0,3 %)	Mögliche Rückstauereffekte auf A391 sind zu beobachten und zu vermeiden
Erfurt: Talstraße/ Bergstr.	10,6 %	NO <sub>2</sub> : 1,0 µg/m <sup>3</sup> / (2,6 %)	Keine	Keine
Erfurt: Leipziger Str.	10,6 %	NO <sub>2</sub> : 1,5µg/m <sup>3</sup> / (7,2 %)	Erhöhung NO <sub>2</sub> : 1,1 µg/m <sup>3</sup> / (4,0 %) stromaufwärts des Dosierungsquerschnittes	durch verkehrstechnische Maßnahmen (Rückstaudetektion) ausgeschlossen
Potsdam: Zeppelinstr.	12,4 %	NO <sub>2</sub> : 0,4 µg/m <sup>3</sup> / (1 %) PM10: < 0,1 µg/m <sup>3</sup> / (0,3 %)	Wurde nicht untersucht	Anfängliche Rückstauereffekte auf der B1 wurden durch Anpassung der LSA-Steuerung reduziert
Potsdam: Behlerstr.	19,7 % (27,6 % der Fahrzeuge)	NO <sub>2</sub> : 1 µg/m <sup>3</sup> / (2,5 %)	Verlagerung des LOS4 auf den vorgelagerten Bereich (Nuthestraße)	Keine Relevanz
Wittenberg: Dessauer Str.	9 %	PM10: 2 ÜT (7 %); im Jahresmittel 0,1 µg/m <sup>3</sup> (0,4 %) NO <sub>2</sub> : 0,2 µg/m <sup>3</sup> (0,6 %)	Erhöhung auf Umleitungsstrecke: PM10: 0,1 µg/m <sup>3</sup> (0,5 %) NO <sub>2</sub> : 0,3 µg/m <sup>3</sup> (1,2 %)	Keine Relevanz
Steiermark	28 % – 54 %	NO <sub>x</sub> : 2-5,5 µg/m <sup>3</sup>	Wurde nicht untersucht	Maßnahme wirkt explizit auf das AO-Netz

AR: Aktivierungsrate  
ÜT: Überschreitungstage

Tab. 8-2: Zusammenstellung der Wirkungen durch die untersuchten UVM für den Planfall 1 (Referenzfall)

setzung der Maßnahme vorliegenden Ausgangssituation. Die Anzahl von PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen und damit auch der PM10-Jahresmittelwert verändern sich hier nicht signifikant.

Die temporäre einseitige Lkw-Umleitung in Wittenberg, die auf die Minderung von PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen ausgelegt ist, lieferte Reduzierungen der Anzahl von wenigen Tagesgrenzwertüberschreitungen. PM10- und NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte verändern sich hier nicht signifikant. Auch hier ist die Minderung abhängig von der umgesetzten Eingriffstiefe und der Auslöseschwelle sowie der Befolgungsrate und der vor Umsetzung der Maßnahme vorliegenden Ausgangssituation.

Durch die unterschiedlichen Eingriffe in den Verkehrsablauf wirken sich die verschiedenen UVM-Maßnahmen auch auf die verkehrlich bedingten Lärmemissionen aus. Quantitative Evaluierungen zum Thema Lärm wurden allerdings bislang in keinem der betrachteten Untersuchungsgebiete durchgeführt.

Veränderungen in den Lärmemissionen bei aktivierten UVM-Maßnahmen sind bei Maßnahme M1 durch eine Veränderung des Schwerverkehrsanteils, bei Maßnahme M2 durch veränderte Verkehrsstärken, bei den Maßnahmen M3 und M5 durch Veränderungen im Verkehrsfluss (Brems- und Beschleunigungsvorgänge) und bei Maßnahme M4 durch eine veränderte Höchstgeschwindigkeit zu erwarten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Wahrnehmung einer Lärmänderung durch Betroffene erst ab einer Größenordnung von knapp 3 dB(A) beginnt. Hierzu wäre etwa eine Halbierung der Verkehrsstärke oder eine Reduzierung des Schwerverkehrsanteils z. B. von 10 % auf 0 % erforderlich.

Aufgrund einer möglichst geringen Schalthäufigkeit und der voraussichtlich kleinen verkehrlichen Effekte sind die untersuchten UVM-Maßnahmen nicht für die Zielstellung einer (dauerhaften) Lärminderung geeignet. Gleichwohl sollten im Rahmen einer UVM-Planung die Lärmemissionen zumindest überschlägig betrachtet werden, da größere Verkehrs-

Kriterien	Wirkungen im Hotspot		Wirkungen in der Umgebung	Auswirkung auf Außerortsnetz
	AR	Minderung (relativ)		
Braunschweig: Altewiekring	14 %	NO <sub>2</sub> : 1,5 µg/m <sup>3</sup> / (2,3 %)	keine	Keine Relevanz
Braunschweig: Hildesheimer Straße	19,8 %	NO <sub>2</sub> : 2 µg/m <sup>3</sup> / (4,8 %)	Erhöhung auf Ausweichrouten NO <sub>2</sub> : 0,1 µg/m <sup>3</sup> / 0,3 % bzw. 0,2 µg/m <sup>3</sup> 0,6 %	Mögliche Rückstauereffekte auf A391 sind zu beobachten und zu vermeiden
Erfurt: Talstraße/ Bergstr.	31,6 %	NO <sub>2</sub> : 3,0 µg/m <sup>3</sup> (7,9 %)	Keine	keine
Erfurt: Leipziger Str.	31,6 %	NO <sub>2</sub> : 2,2 µg/m <sup>3</sup> (10,6 %)	Erhöhung NO <sub>2</sub> : 1,6 µg/m <sup>3</sup> / (5,8 %) stromaufwärts des Dosierungsquerschnittes	durch verkehrstechnische Maßnahmen (Rückstaudetektion) ausgeschlossen
Potsdam: Behlerstr.	41,4 % der Fahrzeuge	NO <sub>2</sub> : 1,3 µg/m <sup>3</sup> / (3,5 %)	Verlagerung des LOS4 auf den vorgelagerten Bereich (Nuthestraße)	Keine Relevanz
Wittenberg: Dessauer Str.	7 %	PM10: 2 ÜT (7 %); im Jahresmittel 0,1 µg/m <sup>3</sup> (0,4 %) NO <sub>2</sub> : 0,1 µg/m <sup>3</sup> (0,3 %)	Erhöhung auf Umleitungsstrecke: PM10: 0,1 µg/m <sup>3</sup> (0,5%) NO <sub>2</sub> : 0,2 µg/m <sup>3</sup> (0,8%)	Keine Relevanz
AR: Aktivierungsrate ÜT: Überschreitungstage				

Tab. 8-3: Zusammenstellung der Wirkungen durch die untersuchten UVM für den Planfall 2 (Optimierter Fall)

verlagerungen insbesondere im Bereich des Schwerverkehrs zu einer Zunahme der Lärmbelastung auf den Ausweichstrecken führen können.

Je nach Art der eingesetzten Maßnahmen haben UVM-Systeme auch einen Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. den Kraftstoffverbrauch. Ähnlich wie beim Lärm sind sie jedoch durch die Grundidee der temporären, möglichst seltenen Aktivierung nicht geeignet für die Zielstellung einer möglichst großen CO<sub>2</sub>-Reduzierung.

Gemäß der in Kapitel 7 durchgeführten Wirkungsanalyse bedingen die untersuchten Maßnahmen Veränderungen in den CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Spannweite von maximal ±170 t pro Jahr. Die Kraftstoffverbräuche verändern sich in einer Größenordnung von ±50 t Benzin/Diesel pro Jahr.

UVM-Maßnahmen wirken sich in unterschiedlicher Form und unterschiedlichem Umfang auf den Verkehrsablauf aus. Mögliche negative Effekte, wie z. B. Staubbildung bei Zuflussdosierung oder Verkehrsstärkenzunahme auf Ausweichstrecken, sind bei Planung und Einrichtung von UVM-Maßnahmen zu berücksichtigen und bzgl. ihrer Wirkungen zu quantifizieren, um nicht grenzwertrelevante Probleme an anderen Stellen im Straßennetz entstehen zu lassen.

Auch auf die Verkehrssicherheit können UVM-Maßnahmen Auswirkungen haben. Diese wurden jedoch in den untersuchten Gebieten bislang nicht evaluiert.

Ob und in welchem Umfang UVM-Maßnahmen Auswirkungen auf den überregionalen Verkehr haben, hängt insbesondere von der Struktur des Verkehrsnetzes und von der Verortung der Maßnahmen im Verkehrsnetz ab.

Strecken mit überwiegend überregionalem Verkehr (Bundesautobahnen, Bundesstraßen außerhalb von Ballungsräumen), können durch dort wirkende UVM unmittelbar betroffen sein. Ein Beispiel ist die immissionsabhängige Verkehrsbeeinflussungsanlage auf einer Autobahn mit temporärem Tempolimit. Durch die Auswirkungen auf die Fahrzeit kann neben dem den Streckenabschnitt passierenden überregionalen Verkehr auch der Quell-Zielverkehr im räumlichen Umfeld der Maßnahme (z. B. Verkehrsverlagerung durch alternative Routenwahl) betroffen sein.

Setzt die Maßnahme an Strecken mit überwiegend regionalem Verkehr an (städtische Hauptverkehrsstraßen), ist der Quell-Zielverkehr in die Ballungsräume hinsichtlich Fahrzeiten und ggf. räumlicher Verkehrsverlagerungen unmittelbar betroffen. Für den überregionalen Verkehr würden sich nur dann direkte Auswirkungen ergeben, wenn z. B. die Zu-

flussdosierung einer städtischen Radialstraße zu einem Rückstau bis in das übergeordnete Verkehrsnetz führen würde. Aus Gründen des Verkehrsablaufes aber auch der Verkehrssicherheit wird man das durch geeignete verkehrstechnische Maßnahmen (Zuflussdosierung mit situationsabhängig variablen Freigabezeiten und Rückstauüberwachung) vermeiden.

Der aktive Einsatz von Verkehrsinformationen kann einen Beitrag zur Veränderung des Verkehrsverhaltens bewirken, hierzu zählen u. a. modale, räumliche und zeitliche Verkehrsverlagerungen. In Abhängigkeit von den Zielstellungen und Rahmenbedingungen der jeweiligen Gebietskörperschaft kann somit eine Flankierung von verkehrssteuernden UVM-Maßnahmen mit Maßnahmen der Verkehrsinformation empfohlen werden.

### 8.2.3 Schwellenwertanalysen

Das Minderungspotenzial von UVM-Maßnahmen hängt neben der Höhe der Minderung durch die Maßnahme selbst entscheidend von der Häufigkeit der Aktivierung der Maßnahme ab. Das bedeutet, dass die effektive Wirksamkeit einer Maßnahme vom Auslösemechanismus und der Höhe einer oder mehrerer Auslöseschwellen abhängt. Theoretische Grundlagen dazu sind bereits in DIEGMANN & WIEGAND (2007) veröffentlicht. Entsprechende Auswertungen liegen z. B. in DIEGMANN (2013) und in UVM-EF-GK (2015) vor.

Im Rahmen der hier dokumentierten Untersuchungen wurden auf der Datenbasis von archivierten Daten ausgewählter Untersuchungsgebiete Variationen von Auslöseschwellen und -mechanismen durchgeführt und daraus Maßnahmenwirkungen berechnet. Eine Dokumentation dieser Schwellenwertanalyse findet sich in Anlage 3 im Kapitel 3.

### 8.2.4 Sensitivitätsbetrachtungen

In der im Rahmen eines UVM notwendigen Modellierung werden verschiedene Parametrisierungen eingesetzt, um möglichst sachgerecht und auch effizient die geforderten Berechnungsergebnisse zur Verfügung zu stellen. Dabei spielen insbesondere die Daten zur Aufteilung des Kfz-Verkehrs nach Verkehrsarten (Pkw, SV, ...) und die Flottenzusammensetzung (Antriebsart, Schadstoffklassen) sowie zur Verkehrsqualität bei der Bestimmung der Kfz-Emissionen und die Daten zur Meteorologie, zur Vorbelastung und zu den Ausbreitungsbedin-

gungen im Straßenraum bei der Bestimmung der Schadstoff-Immissionen eine große Rolle.

Um den Einfluss dieser Parametrisierungen zu untersuchen, wurden entsprechende Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt. Die entsprechenden Auswertungen sind in der Anlage 3 im Kapitel 4 für die Verfügbarkeit von Eingangsdaten und in Kapitel 5 in Abhängigkeit der Qualität dieser Eingangsdaten dokumentiert.

Im Kapitel 5 der Anlage 3 wurde untersucht, inwieweit eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der Qualität der Eingangsdaten zur Verbesserung bzw. Verschlechterung der Ergebnisse des Umweltmoduls führt. Als Qualitätskriterium wurde dabei eine Veränderung der Modellgüte gegenüber dem Basisfall herangezogen. Die vergleichenden Sensitivitätsberechnungen wurden für  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$ -Immissionen und Emissionen sowie für  $\text{CO}_2$ -Emissionen und den Kraftstoffverbrauch durchgeführt.

## 8.3 Mögliche Ausgestaltungen der Systeme

Die gegenwärtig im Einsatz befindlichen Systeme zeigen bereits eine große Bandbreite der möglichen funktionalen und technischen Ausgestaltung (siehe Kapitel 2). Die Anforderungen an die jeweilige lokale Lösung bestimmen hierbei maßgeblich den Umfang und die Komplexität der Systeme.

In Bezug auf die räumliche Abdeckung können sowohl einzelne Hotspots als auch Teilnetze wie Straßenzüge oder gar gesamte städtische Netze betrachtet werden. Hierbei steht im dynamischen umweltorientierten Verkehrsmanagement die Frage nach einer Online-Bereitstellung der Eingangsdaten für die Emissionsberechnung im Vordergrund. Für einzelne Hotspots können die verkehrlichen Eingangsdaten für den Ist-Zustand mit lokalen Messstellen bereitgestellt werden, wie es z. B. in Potsdam der Fall ist.

Für Teilnetze oder gar gesamte städtische Netze muss die Frage nach der Datenbereitstellung für nicht lokal detektierte Abschnitte in geeigneter zeitlich-räumlicher Auflösung und Aktualität beantwortet werden. Dies betrifft für die verkehrlichen Eingangsdaten neben der Kfz-Verkehrsstärke auch den Schwerverkehrsanteil und insbesondere den Verkehrszustand. Da UVM-Maßnahmen wie Drosselung und Verstetigung die Verkehrsstärke und

den Verkehrszustand beeinflussen sollen, muss die aktuelle Datenerfassung für diese Kenngrößen sensitiv sein.

Aus den Betriebserfahrungen mit den bisherigen Systemen heraus (siehe Kapitel 5) hat sich ein Verbesserungspotenzial im Hinblick auf die Aktualität der Messdaten gezeigt. Der zeitliche Bedarf zur Messung des Verkehrszustands, der Meteorologie und der Berechnung der Emissionen und der Immissionen hat insgesamt einen Umfang, der in der Regel zu einem deutlichen Verzug zwischen Veränderungen von Eingangsdaten und Reaktion des UVM-Systems führt. Lösungsansätze hierfür reichen von pragmatischen Ansätzen wie der Absenkung der Auslöseschwellenwerte, um frühzeitiger die UVM-Schaltung auszulösen, bis zu Prognosemodellen für die Vorhersage der Eingangsdaten für die kommenden Stunden (z. B. Braunschweig) oder den Folgetag (z. B. Wittenberg).

Für ein effektives Zusammenwirken zwischen Verkehrsmanagement und UVM sollten alle relevanten Datenquellen im Verkehrsmanagementsystem online verfügbar gemacht werden und alle Möglichkeiten der Information und Beeinflussung der Verkehrsteilnehmer genutzt werden. Hierzu zählt neben der Ansteuerung von Wechselverkehrszeichen oder der Beeinflussung der Lichtsignalanlagen auch die rechtzeitige Information der Verkehrsteilnehmer, beispielsweise über dynamische Informationstafeln und neue Kommunikationskanäle (Apps, ...). So können Informationsstrategien implementiert werden, die sich positiv auf die Verkehrsnachfrage auswirken können. In diesem Zusammenhang kommt den Vorhersagen für den Folgetag eine besondere Bedeutung zu.

Die Abstimmung zwischen dem Verkehrsmanagement und dem UVM muss jedoch auch im Hinblick auf die Wirksamkeit der einzelnen zu schaltenden Maßnahmen intensiviert werden. Ein Beispiel hierfür ist die Planung der Koordinierung von Lichtsignalanlagen. Diese sogenannten grünen Wellen können in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten nur über eine bestimmte Anzahl an Knotenpunkten und nicht immer gleichermaßen in beiden Fahrtrichtungen realisiert werden. Hieraus resultieren sogenannte Brechpunkte, an denen ein Großteil der Kfz nach gemeinsamem Halt beschleunigen muss. Diese Brechpunkte sollten im Sinne des UVM an Tagen mit hohen Belastungen außerhalb der Hotspots liegen. Dies sind für das Verkehrsmanagement neue, umweltorientierte Optimierungskri-

terien, die mit den bestehenden Kriterien wie Verkehrsfluss, ÖPNV-Bevorrechtigung, Fußgänger- und Radverkehr von der Planung bis zum operativen Betrieb gegeneinander abzuwägen sind.

Die technischen Voraussetzungen für ein UVM sind bei Bestehen eines Verkehrsmanagementsystems bereits als gut zu unterstellen. Die UVM-Maßnahmen sind zumeist über die bestehende Aktorik umsetzbar (LSA, Wechselverkehrszeichen, Infotafeln, Apps, ...). Für die Implementation sind dann Erweiterungen zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und -immissionen erforderlich. Diese führen dann zu neuen (Umwelt-) Datenpunkten im Verkehrsmanagementsystem, auf die die Akteure wie auf bestehende verkehrliche Datenpunkte reagieren können. Die Synergiepotenziale von Verkehrsmanagement und UVM sind hierbei sehr groß.

Eine solche Erweiterung eines Verkehrsmanagementsystems um UVM-Komponenten kann schrittweise erfolgen. Beginnend mit den wichtigsten Hotspots, in denen lokale Detektion entweder bereits verfügbar ist oder hierfür nachgerüstet werden muss, kann anschließend eine Erweiterung um zusätzliche Hotspots, weitere UVM-Maßnahmen, stärkere Eingriffsschweren oder auch eine stadtweite Implementierung erfolgen.

Die Funktionalitäten des Archivierens aller Eingangs- und Ergebnisdaten (Messwertarchiv) sowie aller Schaltbefehle eines Verkehrsmanagementsystems (Betriebsmeldearchiv) bilden darüber hinaus in Verbindung mit weiteren Ereignisdaten wie Baustellen, Veranstaltungen und ungeplante Störungen (Unfälle etc.) eine wichtige Grundlage für eine Evaluation von UVM-Maßnahmen und deren Wirksamkeiten.

## 8.4 Nutzen-Kosten-Verhältnis

Mit der vorliegenden Anwendung der Nutzen-Kosten-Analyse nach der in den RWS (FGSV, 2016) aufgenommenen Verfahrensweisen und einer anschließenden nutzwertanalytischen Betrachtung der Ergebnisse an den am stärksten belasteten Hotspot-Strecken wurden für alle Untersuchungsgebiete Nutzen und Kosten eines UVM bzw. der UVM-Maßnahmen ermittelt. Dem Fall „kein UVM“ wurde der realisierte Fall sowie ein weiterer Planfall gegenübergestellt.

In der Nutzen-Kosten-Analyse wurden gegenüber den Vorgaben der RWS (FGSV, 2016) verschiedene Vereinfachungen vorgenommen: so wurde auf eine Knotenpunktbewertung verzichtet. Auch sind Wirkungen für Fußgänger und Wirkungen auf die Priorisierung des querenden Öffentlichen Verkehrs nicht in die Berechnungen eingeflossen. Das muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden.

Es zeigte sich, dass UVM-Maßnahmen dann ein gesamtwirtschaftlich positives Kosten-Nutzen-Verhältnis haben, wenn sie als Maßnahmen eine Verkehrsverflüssigung vorsehen, sodass neben positiven Gesundheitswirkungen auch positive Wirkungen bei den Kfz-bezogenen Indikatoren verzeichnet werden. Im Fall einer deutlichen Verschlechterung der verkehrlichen Indikatoren ist eine Gesamtwirtschaftlichkeit schwierig zu belegen.

Die Analysen ergaben auch, dass die durch UVM-Systeme beabsichtigten positiven Wirkungen im Bereich der menschlichen Gesundheit in gesamtwirtschaftlich relevanter Größenordnung erreicht werden können. Damit können negative verkehrliche Auswirkungen überkompensiert werden, sodass sich ein gesamtwirtschaftlich günstiges Nutzen-Kostenverhältnis ergibt.

Bei Verkehrsverlagerungen und Umleitungen ist die Frage relevant, inwieweit die Alternativrouten durch bebauten Gebiet verlaufen. Eine höhere Fahrleistung führt zunächst bei den verkehrlichen Indikatoren zu einem negativen Saldo. Zugleich kann der Gesundheitsnutzen negativ ausfallen, wenn die Umleitungsstrecke lang ist und durch bewohntes Gebiet verläuft.

Es muss ferner berücksichtigt werden, dass Umleitungen auch mit der Intention veranlasst werden, dass lokale Grenzwertüberschreitungen von PM10 oder NO<sub>2</sub> zu vermeiden sind. Dies wird in der NWA speziell adressiert. Es geht dann darum, lokal zu entlasten und dafür in Kauf zu nehmen, dass höhere Belastungen an anderer Stelle auftreten können, wobei es jedoch nicht zu neuen Grenzwertüberschreitungen kommen darf. Der Nutzen-Kosten-Saldo kann in einem solchen Fall für den gesamten Wirkungsraum auch negativ ausfallen. Dafür werden potenzielle hohe Strafzahlungen vermieden, die die Kosten eines UVM-Systems bei weitem übersteigen können.

Der Vergleich einer realisierten dynamischen Lösung mit einer dauerhaften Lösung wurde explizit nur für das Untersuchungsgebiet Wittenberg ange stellt. Teilaspekte dieser Fragestellung wurden aber auch in den anderen Untersuchungsgebieten mit der Definition von Planfällen mit einer häufigeren Schaltung der Maßnahme behandelt.

Für das Untersuchungsgebiet Wittenberg ergab die NKA einen deutlichen Vorteil der gewählten temporären gegenüber einer dauerhaften Lösung.

In den Fällen Erfurt und Potsdam lag das Nutzen-Kosten-Verhältnis bei häufigerem Schalten niedriger als bei den realisierten Lösungen. Wenn dies Ergebnis hin zu einer dauerhaften Lösung extrapoliert wird, ergäben sich auch hier deutliche Vorteile für eine dynamische Schaltung der UVM-Maßnahmen gegenüber einer dauerhaften Lösung.

Im Falle Braunschweig ist hingegen ein seltenes Schalten gesamtwirtschaftlich schlechter als ein häufigeres Schalten der Maßnahme. Dabei müssen allerdings die eingangs gemachten Anmerkungen zu den in der NKA vernachlässigten Effekten beachtet werden.

Es kommt offenbar auf eine gute Balance zwischen verkehrlichen Wirkungen (insbesondere, wenn die Maßnahme verkehrlich restriktiv wirkt) und den umweltbezogenen Wirkungen an.

Insgesamt zeigt sich, dass die realisierten UVM-Maßnahmen positive Beiträge im Bemühen um eine Verminderung der Immissionen und die Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen leisten. So sinken in Braunschweig die NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen auf den Strecken mit der größten Wirkung um 1,4 µg/m<sup>3</sup>, in Erfurt und Potsdam um 1,0 µg/m<sup>3</sup> und in Wittenberg, das in erster Linie zur Senkung von PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen eingerichtet worden war, um 0,2 µg/m<sup>3</sup>. In Wittenberg konnten im untersuchten Jahr 2014 zwei PM10-Grenzwertüberschreitungstage vermieden werden.

## 8.5 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die vom UBA veröffentlichten Messdaten für 2017 zeigen, dass nur noch an einer Messstation ein PM10-Grenzwert überschritten wird, wohingegen immer noch an ca. 70 Messstationen der NO<sub>2</sub>-Jah-

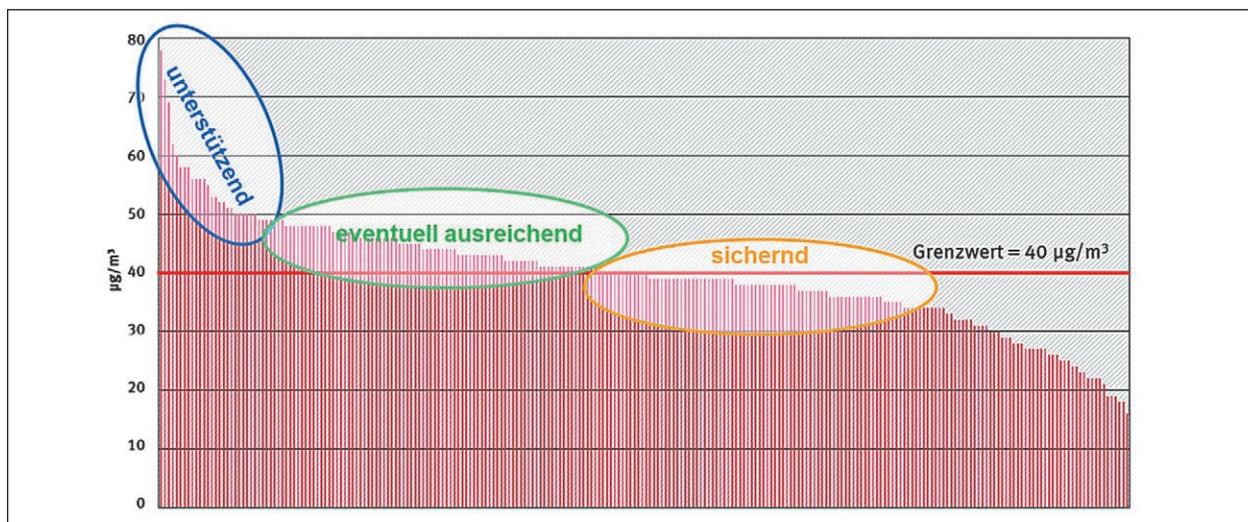


Bild 8-1: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2017 nach Höhe sortiert modifiziert aus (UBA, 2018)

resgrenzwert überschritten wird. Eine Auflistung der gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte sortiert nach der Höhe des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts ist in Bild 8-1 dargestellt. Nach diesen Daten gab es in 2017 einige Messstandorte, bei denen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert z. T. deutlich über 50 µg/m<sup>3</sup> gemessen wurden (blau umrandet). Hier kann ein UVM nur unterstützend zur Minderung der Schadstoffbelastung eingesetzt werden. Eine Einhaltung des Grenzwerts in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> ist mit den in diesem Projekt untersuchten UVM-Maßnahmen allein nicht möglich.

Bei einer Vielzahl von Messstandorten liegt der gemessene NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert dicht über (grün umrandet) bzw. unter (gelb umrandet) dem Grenzwert. Für diese Situationen können damit temporäre Maßnahmen mittels eines UVM zielgerichtet zur eventuell ausreichenden bzw. zur sichernden Einhaltung des Grenzwerts eingesetzt werden. Entsprechende Aktivitäten werden derzeit auch durch Förderprogramme des Bundes im Rahmen des Fonds Nachhaltige Mobilität und darin z. B. durch die Förderrichtlinie „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“ unterstützt.

Aus Untersuchungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung wird deutlich, dass die gemessenen Überschreitungenfälle nur ein Beispiel von einer Vielzahl von potenziellen Überschreitungenfällen des NO<sub>2</sub>-Grenzwerts in einer Stadt sein können. So werden beispielweise im Luftreinhalteplan Hamburg für die aktuelle Situation 349 Abschnitte mit einer Länge von 40,8 km als potenzielle Hotspots identifiziert (Hamburg, 2017). Für München werden Abschnitte mit einer Länge von 133 km (LISTL et. al., 2017) und in Stuttgart 37 km (AVISO, RAU, PTU,

2017) angegeben. Ein komplexes UVM in Verbindung mit einem gesamtstädtischen Mobilitätsportal bietet damit auch die Möglichkeit für diese weiteren Hotspots Maßnahmen zu entwickeln und zu schalten. Dabei können je Hotspot individuelle Lösungsstrategien und die mögliche Vernetzung der Hotspots sowie die Wirkungen auf von Maßnahmen betroffene Bereiche betrachtet werden.

## 8.6 Möglichkeiten zur Erhöhung der Wirksamkeit

Die Luftreinhalte- und Aktionspläne der Städte beinhalten eine Vielzahl an Maßnahmen, in deren Gesamtheit die Grenzwerte der Luftschadstoffbelastung eingehalten werden sollen. UVM-Systeme mit entsprechenden Maßnahmen stellen eine Maßnahme in diesem Maßnahmenbündel dar.

Sie unterscheidet sich durch ihre bedarfsorientierte Anwendung entscheidend von den übrigen statischen und infrastrukturellen Maßnahmen. Der bedarfsorientierte Einsatz bedeutet, die Verkehrsteilnehmer nur bei drohenden Grenzwertüberschreitungen in ihrer Mobilität zu beeinflussen.

Darüber hinaus sind sie hinsichtlich ihrer Umsetzung und Wirkungsentfaltung als kurzfristige Maßnahme einzuordnen. Durch ihre direkte Kopplung an die in den Städten vorhandenen Verkehrsmanagementsysteme entsteht ein weit über die Umweltsteuerung in den Hotspots hinausgehender Nutzen. So schafft sie die Voraussetzung für eine stadtweite umweltorientierte Verkehrssteuerung, die Integration der Umweltbelastung in das Qualitäts-

management sowie die Nutzung der Ergebnisse in der Planung und dem Betrieb der Verkehrsanlagen. Höhere Minderungsraten im UVM könnten durch das Absenken von Schalt-/Auslöseschwellen oder einer anderen Maßnahmenwahl erzielt werden. Das Absenken von Schaltschwellen kann die Wirkung erhöhen. Deutlich höhere Minderungsraten könnten erzielt werden, wenn statt der Maßnahmen M3 bis M6 alternativ oder ergänzend eine der „harten“ Maßnahmen umgesetzt werden würde.

## 9 Empfehlungen

### 9.1 System- und Maßnahmenwahl

Bild 9-1 und Bild 9-2 sowie Tabelle 9-2 geben ein Entscheidungsschema zur Maßnahmenwahl, Anforderungen an das Umweltmodul sowie die Kopplung an das Verkehrsmanagement in Abhängigkeit von lufthygienischer Ausgangssituation am Hot-spot, dem Auslösekriterium und dem Vorliegen von Alternativrouten.

Dabei wird von den in Tabelle 9-1 aufgeführten verfügbaren bzw. denkbaren Maßnahmen ausgegangen.

Einen sehr hohen Einfluss auf die System- und Maßnahmenwahl haben sowohl das Auslösekriterium (NO<sub>2</sub> oder PM10) sowie die Höhe der Grenzwertüberschreitung. Begrenzend für die Maßnahmenwahl mit Verkehrsumleitungen wirkt die Verfügbarkeit von akzeptablen Alternativrouten. Auf eine

Maßnahmen	
M1:	Dynamisch geschaltetes Lkw-Fahrverbot
M2:	Dynamische Verkehrsumleitungen
M3:	Dynamische Maßnahmen an LSA zur Verkehrsverflüssigung
M4*:	Dynamische Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit
M5:	Dynamische Zufussdosierung
M6:	Information, z.B. über Informationstafeln
M7:	Dynamisch geschaltetes Fahrverbot
M8:	Dynamische Einfahrverbote für Diesel-Kraftfahrzeuge
M9:	Dynamische Einfahrverbote für Fahrzeuge ohne „Blaue Plakette“
M10:	Dynamische Sperrung der Umweltzone für den allgemeinen Kfz-Verkehr
M11:	Dynamische City-Maut

\* Minderungswirkung von Tempolimits auf Emissionen muss für den konkreten Fall geprüft werden.

Tab. 9-1: Liste der Maßnahmen

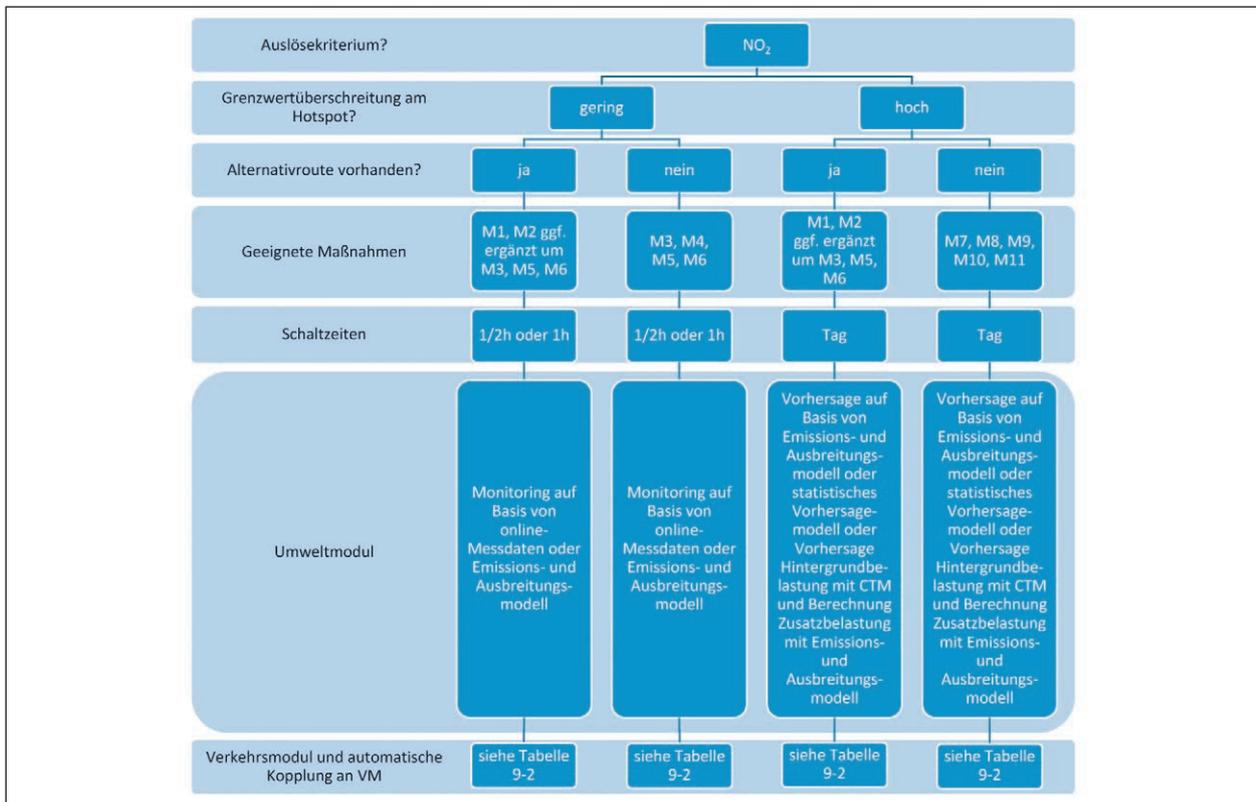


Bild 9-1: Entscheidungsschema zur Maßnahmenwahl und Wahl des Umweltmoduls bei Auslösekriterium NO<sub>2</sub>

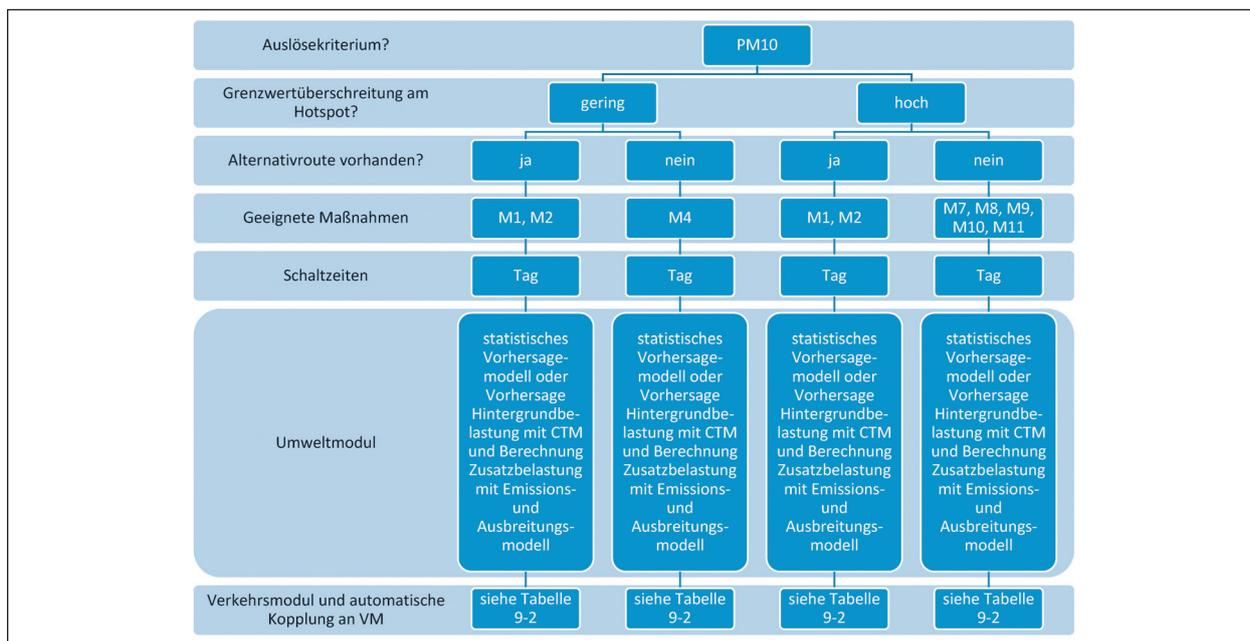


Bild 9-2: Entscheidungsschema zur Maßnahmenwahl und Wahl des Umweltmoduls bei Auslösekriterium PM10

Örtliche Situation	Auslösekriterium			
	NO <sub>2</sub>		PM10	
	GW-Überschreitung am Hotspot		GW-Überschreitung am Hotspot	
	gering	hoch	gering	hoch
	Verkehrsmodule		Verkehrsmodule	
Ortsdurchfahrt in Klein- oder Mittelstadt oder Stadtteil (1 Straße plus Kreuzung)	Detektion an wenigen, strategischen Punkten			
Mittel- oder Großstadt (Straßennetz)	flächendeckendes Monitoring			
AO/Autobahn	Detektion an wenigen, strategischen Punkten			
	automatische Kopplung an VM		automatische Kopplung an VM	
Ortsdurchfahrt in Klein-, - oder Mittelstadt oder Stadtteil (1 Straße plus Kreuzung)	ja	nicht zwingend	nicht zwingend	nicht zwingend
Mittel- oder Großstadt (Straßennetz)	ja	ja	ja	ja
AO/Autobahn	ja	ja	PM10 nicht relevant	

Tab. 9-2: Entscheidungsschema zur Anforderung an das Verkehrsmodule sowie an die Kopplung zwischen Umweltmodul und Verkehrsmanagement in Abhängigkeit von lufthygienischer Ausgangssituation am Hotspot, örtlicher Situation und Auslösekriterium

automatische Kopplung zwischen Verkehrsmanagement und Umweltmodul könnte verzichtet werden, wenn nur an wenigen Tagen des Jahres die o. g. harten Maßnahmen geschaltet werden müssen, sei es weil es um die Eingrenzung der PM10-Tagesgrenzwertüberschreitung oder um die NO<sub>2</sub>-Minderung durch Einfahrverbote bei sehr hohen NO<sub>2</sub>-Belastungsepisoden geht, und eine manuelle Schaltung durch Klapptafeln wirtschaftlich ist. Dann ist auch eine Vorhersage der Umweltsituation mindestens für den nächsten Tag notwendig.

An Bundesautobahnen bzw. Außerortsstraßen spielt PM10 (derzeit) keine Rolle.

## 9.2 Zeitliche Auflösung

Für ein dynamisches umweltorientiertes Verkehrsmanagement müssen die Eingangsdaten in einer hinreichenden zeitlichen Auflösung vorliegen. Zeitintervalle von 30 Minuten haben sich hierbei als geeignet erwiesen. Sie bilden den Tagesverlauf der Verkehrsstärke und des Verkehrszustands hinreichend fein ab und zeichnen sich durch einen praktischen Aufwand aus. Grundlage für die Berechnung des Verkehrszustands in 30-Minuten-Intervallen (Aufteilung der Verkehrsstärke auf die vier Verkehrszustände) sollten bei Messwerten zeitlich höher aufgelöste Daten (z. B. 5-Minuten-Werte) sein,

um eine Zuordnung der gesamten Verkehrsstärke zu einem einzigen Verkehrszustand zu vermeiden.

### 9.3 Schwellenwerte

Die Wirkung der in den UVM-Systemen hinterlegten Maßnahme(n) hängt entscheidend von den Aktivierungsraten ab, welche wiederum durch die Höhe der Schwellenwerte, zur Maßnahmenauslösung gesteuert werden. Die Aktivierungsraten und damit die Schwellenwerte sind dabei i. Allg. Resultat einer Abwägung zwischen luftschadstoffseitiger Minderungswirkung und verkehrlicher Eingriffstiefe, sowie der Akzeptanz einer Häufigkeit der Aktivierung der jeweiligen Maßnahme. Die Erfahrungen in den in Betrieb befindlichen untersuchten Systemen in den

Untersuchungsgebieten zeigen entsprechend Tabelle 9-3 dazu Folgendes:

- Häufig gibt es eine Staffelung der Schwellenwerte die zu unterschiedlichen Maßnahmen mit unterschiedlicher Eingriffstiefe führen. So werden beim Auslösekriterium  $\text{NO}_2$  zunächst mit einem niedrigen Schwellenwert Verkehrsinformationen geschaltet. Erst beim Überschreiten eines höheren Schwellenwertes werden verkehrsbeeinflussende Maßnahmen aktiviert.
- Auch eine Kombination von verschiedenen hohen Schaltschwellen ist möglich, wie die Beispiele Potsdam und die VBA Steiermark zeigen.

Typische Schaltschwellen liegen bei den derzeit umgesetzten UVM beim  $\text{NO}_2$  bezogen auf 1/2- oder

Untersuchungsgebiet	Auslösekriterium	Staffelung/ Schaltschwelle	Maßnahme	Bemerkung
Wittenberg	PM10-Tageswert	Keine Staffelung, Vorhersagewert sollte ca. im Konzentrationsbereich zwischen 45 und 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen	Lkw-Durchfahrtsverbot auf Dessauer Straße plus Lkw-Führung von West nach Ost auf ausgeschilderter Alternativroute	Auslösung entsprechend Vorhersagewert aus Umweltmodul vorbehaltlich einer fachlichen Verifizierung der Ergebnisse durch Mitarbeiter des Luftüberwachungs- und Informationssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA)
Potsdam	$\text{NO}_2$ -1/2-Stundenwert und Verkehrssituation (LOS)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder dichter Verkehr	Verkehrsinformation zur Luftschadstoffbelastung	
	$\text{NO}_2$ -1/2-Stundenwert und Verkehrssituation (LOS)	90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder Stau	Verkehrsdosierung am Ortseingang, Verstärkung Verkehr im Stadtgebiet und Verkehrsinformation zur Luftschadstoffbelastung	
Erfurt	$\text{NO}_2$ -Stundenwert und Verkehrssituation (LOS)	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oder gesättigter Verkehr (dichter Verkehr)	Verkehrsinformation „Erhöhte Umweltbelastung“ und/oder „Stau“ mit Hinweis auf P+R und ÖPNV-Abfahrten (Rücknahme Verkehrsinformation)	
	$\text{NO}_2$ -Stundenwert und Verkehrssituation (LOS)	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) oder gesättigter Verkehr (dichter Verkehr)	Zufussdosierung zur Reduzierung von Verkehrsmengen und zur Verstärkung des Verkehrsflusses (Rücknahme Zufussdosierung)	
Braunschweig	$\text{NO}_2$ -Stundenwert	geplant: 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Verstärkung auf dem betroffenen Streckenzug, ergänzt um Zufussdosierungen bei Einfahrt in den Streckenzug, bewusst keine Verkehrsinformation	Bisher wurden Maßnahmen in Braunschweig nur zeitgesteuert im Rahmen eines Probebetriebs aktiviert
VBA Steiermark (A2, A9)	PM10-1/2-Stundenwert Hintergrundbelastung oder $\text{NO}_x$ -Zusatzbelastung	Keine Staffelung, 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hintergrundbelastung PM10) oder 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (je nach Autobahnabschnitt) für $\text{NO}_x$ -Zusatzbelastung	Tempolimit 100 km/h	

Tab. 9-3: Schaltschwellen und zugeordnete Maßnahmen in den analysierten Untersuchungsgebieten

Stundenwerte zwischen  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , beim PM10-Tageswert zwischen  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sowie beim Auftreten von Stop+Go. Schaltungen auf Basis der Verkehrsstärken kommen in den betrachteten Gebieten bislang nicht zum Einsatz.

Unabhängig davon müssen die Schaltschwellen für das jeweilige Untersuchungsgebiet auf Basis von Voruntersuchungen festgelegt und im Rahmen eines Probebetriebes verifiziert werden. Der Vorteil eines UVM liegt auch darin, dass je nach Anforderungen oder geänderten Rahmenbedingungen Anpassungen der Auslöseschwellen einfach möglich sind.

## 9.4 Verkehrliche Eingangsdaten

Die Verkehrsmodule benötigen zur Verkehrslageanalyse und -prognose (aktuelle und zukünftige Verkehrslage) sowie zur Wirkungsermittlung umfangreiche verkehrliche Eingangsdaten. Dazu werden die Aspekte räumliche Abgrenzung, räumliche Auflösung, zeitliche Auflösung, Vorhersagehorizont und verkehrliche Kenngrößen betrachtet. Die Anforderungen bzgl. der einzelnen Aspekte differieren teilweise in Abhängigkeit von nachfolgend genannten Verfahrensschritten:

- Ermittlung der Verkehrssituationen zur Verkehrssteuerung,
- Ermittlung der Umweltsituationen zur Verkehrssteuerung und -information (Eingangsdaten Umweltmodul für Analyse und Kurzfristvorhersage) und
- Ermittlung von Umweltsituationen zur Vorab-Verkehrsinformation (Eingangsdaten Umweltmodul für Mittelfristvorhersage).

### Räumliche Abgrenzung

- Hinsichtlich des räumlichen Umfangs sind Verkehrsdaten mindestens erforderlich an den Hotspots bzw. an den Netzabschnitten, wo eine kontinuierliche Ermittlung der Verkehrssituation als Basis für die Verkehrssteuerung vorgesehen ist.
- Im Hinblick auf ein kontinuierliches Monitoring und die Wirkungsermittlung von Maßnahmen (Berücksichtigung von Verlagerungseffekten) sind die Verkehrsdaten für das relevante Untersuchungsgebiet erforderlich.

- Innerorts sind bei einer gesamtstädtischen Umsetzung des UVM und deren Integration in ein übergeordnetes Strategiemanagement (strategische Verkehrssteuerung) Verkehrsdaten für das gesamte Stadtgebiet, zzgl. eines ggf. umgebenden Schnellstraßennetzes erstrebenswert.

### Räumliche Auflösung

- Daten aus der Verkehrsdetektion (strategische Detektion, LSA-Detektion) stellen querschnittsbezogene verkehrliche Kenngrößen dar, die i. d. R. für einen zu definierenden Streckenabschnitt stromauf- und stromabwärts des Messquerschnittes als repräsentativ betrachtet werden können. Bei entsprechend dichter Detektion und einer überschaubaren räumlichen Abgrenzung kann das für ein UVM ausreichend sein.
- Daten aus der Verkehrslage (modellbasiert und/oder FCD-basiert<sup>41</sup>) stellen kantenbezogene verkehrliche Kenngrößen dar und können somit ein definiertes Streckennetz vollständig abdecken. Sie ermöglichen bei feinteiliger Digitalisierung des Verkehrsnetzes (mehrere Streckenabschnitte zwischen den Knotenpunkten) eine räumlich differenzierte Analyse von Verkehrssituationen.

### Zeitliche Auflösung und Vorhersagehorizont

- Die Ermittlung von Verkehrssituationen für die strategische Verkehrssteuerung (Makrosteuerung) erfordert eine zeitliche Auflösung der Verkehrsdaten von wenigstens 15 min, besser 5 min. Die lokale Verkehrssteuerung (Mikrosteuerung) an Knotenpunkten (Abflussdetektion, Stauraumüberwachung) z. B. im Rahmen einer Zuflussdosierung erfordert eine umlaufbezogene zeitliche Auflösung.
- Die Ermittlung von Umweltsituationen zur Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation (im Live-Betrieb) erfordert Verkehrsdaten mindestens in der zeitlichen Auflösung der verfügbaren Umweltdaten, d. h. eine zeitliche Auflösung nicht kleiner als 30 min. (in der Regel 60 min.), idealerweise mit einem Vorhersagehorizont von +3 Stunden.
- Die Ermittlung von Umweltsituationen zur Vorab-Verkehrsinformation erfordert Verkehrsdaten in einer zeitlichen Auflösung von 60 min mit einem Vorhersagehorizont entsprechend der Umweltdaten von ein bis mehreren Tagen.

<sup>41</sup> FCD = Floating Car Data

### Verkehrliche Kenngrößen

- Verkehrsstärken, ermittelt aus Verkehrsdetektion und/oder Verkehrslage (Verkehrsmodell), differenziert nach Fahrzeugklassen; idealerweise min. Pkw, LNfz, SNfz und Busse,
- idealerweise Flottenzusammensetzung mit Differenzierung in Emissionsklassen unter Berücksichtigung der KBA-Statistik der relevanten Zulassungsbezirke sowie ÖV-Daten (Busse)
- Fahrgeschwindigkeit ermittelt aus Verkehrsdetektion und/oder Verkehrslage (Verkehrsmodell) sowie bei Verfügbarkeit aus Verkehrsereignisdaten (Fahrzeitzuschläge) sowie
- Level of Service zur Ermittlung der Umweltsituationen (HBEFA-konform)  
Die Ableitung des Verkehrszustands nach HBEFA wurde in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten auf verschiedene Art und Weise durchgeführt. In der Zwischenzeit wurde vom UBA ein Leitfaden zur Ableitung des Verkehrszustands veröffentlicht (DIEGMANN et al., 2016). Für künftige Anwendungen wird darauf aufbauend eine Vereinheitlichung empfohlen.

Die verkehrlichen Eingangsdaten unterliegen im Tages- und Jahresverlauf unterschiedlichen Einflüssen, die nur zum Teil vorab bekannt sind. Unbekannte Einflussgrößen auf den Verkehrszustand sind Effekte wie das Parken und Liefern in zweiter Reihe oder nicht vorhersehbare Ereignisse (Unfälle etc.). Folglich unterscheiden sich Verkehrskenngrößen, die lokal direkt erfasst wurden von Modellrechnungsergebnissen, sofern derartige Einflussgrößen dort keine Berücksichtigung finden können.

### 9.5 Umweltdaten

Die Umweltmodule benötigen zur Prognose und ggf. zur Vorhersage von Luftschadstoffkonzentrationen neben den unten diskutierten Emissionen entsprechende weitere Eingangsdaten. Diese sind:

- Winddaten (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Klassifizierung der Stabilität der Atmosphäre, wie z. B. Ausbreitungsklassen nach TA-Luft). Diese Winddaten müssen repräsentativ für die von der lokalen Bebauung unbeeinflussten Bedingungen sein. Innerstädtisch wären das z. B. Winddaten, die die „Über-Dach-Verhältnisse“ repräsentieren oder die von Messungen an Flughäfen auf das Rechengebiet übertragen werden.

Windmessungen in der Straßenschlucht sind nicht geeignet.

- Eine Grundgröße stellen die Hintergrundbelastungen dar. Diese können entweder aus Messdaten repräsentativer Hintergrundmessstellen oder aus Chemie-Transport-Modellen übernommen werden.
- Die Immissionsmessdaten am Hot-Spot sowie an der Hintergrundmessstelle müssen den Qualitätsanforderungen der 39. BImSchV entsprechen oder bei alternativen Messverfahren muss deren Kompatibilität zu den Referenzmessverfahren sichergestellt werden.
- Müssen  $\text{NO}_2$ -Werte prognostiziert werden, ist die photochemische  $\text{NO}_2$ -Bildung zu berücksichtigen. Dazu ist die Kenntnis der Ozonhintergrundbelastung, der Globalstrahlung sowie der Temperatur notwendig.
- Sollten Vorhersagen durchgeführt werden, dann kann zwischen Kurzfristvorhersage (+1h bis +3h) und Mittelfristvorhersage (+1 Tag bis +5 Tage) unterschieden werden:
  - Für die Kurzfristvorhersage sind i. Allg. die Übernahme der aktuell gemessenen Meteorologie und Hintergrundbelastungen akzeptabel. Die Vorhersage bezieht sich dann auf die Veränderung infolge der verkehrlichen Emissionsänderungen
  - Für die Mittelfristvorhersage sind Vorhersagedaten für die o.g. Parameter nötig. Eine Verifizierung mit einer ggf. eingeschlossenen Validierung dieser Vorhersagedaten anhand von Messdaten im Untersuchungsgebiet führt zu einer deutlichen Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit und sollte deshalb regelmäßig (mind. ca. alle 2 Jahre) durchgeführt werden.

Unabhängig davon sei auf die einschlägigen Richtlinien für die Qualitätssicherung von Ausbreitungsberechnungen, wie VDI 3783 Blatt 14 (KRdL 2013), verwiesen.

### 9.6 Emissionsberechnung

Die Umweltmodule im Rahmen eines UVM sollen die Zusammenhänge zwischen der Verkehrsbelastung und der Immissionsbelastung möglichst realistisch abbilden. Nur so können im Monitorbetrieb oder in der Vorhersage der Immissionsbelastung gesicherte Auslöseschwellen ermittelt werden. Zudem ist es für

eine nachgeschaltete Evaluation der Wirksamkeit der über ein UVM aktivierter Maßnahmen entscheidend, die Wirkung verkehrlicher Maßnahmen auf die Veränderung der Kfz-Emissionen und daraus abgeleitet auf die Immissionen qualitätsgesichert zu berechnen. Auf Grund der Komplexität der Bestimmung der Kfz-Emissionen müssen möglichst Mindeststandards berücksichtigt werden. Entsprechende Standards werden beispielsweise durch die VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7 zur Kfz-Emissionsbestimmung (KRdL, 2003) festgelegt. Auf Grund der sich permanent ändernden Fahrzeugflotte der Kfz muss gewährleistet sein, dass die neuesten Erkenntnisse in der Berechnung berücksichtigt werden. In Deutschland wird der aktuelle Stand der Datengrundlage durch das HBEFA definiert. Für Monitoring- und Vorhersagesysteme der Luftschadstoffbelastung sollte deshalb immer die aktuelle Version des HBEFA eingesetzt werden. Eine über das HBEFA hinausgehende Aufgabenstellung stellt die Ermittlung der kfz-bedingten Emissionen für nicht auspuffbedingte Partikel dar. Diese sogenannten Aufwirbelungs- und Abriebemissionen (AWAR) werden nicht durch das HBEFA abgedeckt. Obwohl dieser Teil der kfz-bedingten PM-Emissionen einen bedeutenden Anteil an der PM-Belastung in einem verkehrsbezogenen Hotspot hat, ist die Datengrundlage für AWAR-Emissionen noch recht dünn. Um aber zu plausiblen Modellergebnissen zu kommen muss dieser Emissionsanteil unbedingt berücksichtigt werden.

Im Rahmen eines UVM spielen besonders Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses eine große Rolle. Hier gibt das aktuelle HBEFA zwar Emissionsfaktoren für 4 verschiedene Qualitätsstufen des Verkehrszustands, aber sowohl die Definition dieser 4 Stufen als auch die Übertragbarkeit aus modellierten oder gemessenen Verkehrsdaten stellt noch eine große Herausforderung dar. Eine Übersicht über Möglichkeiten der Ermittlung und Berücksichtigung des Verkehrszustands in der Ermittlung der Kfz-Emissionen gibt das UBA Vorhaben (DIEGMANN et al., 2016). Hier, wie auch in anderen Veröffentlichungen wird aber darauf hingewiesen, dass gerade starke lokale Störungen des Verkehrszustands nicht ausreichend durch das HBEFA abgebildet werden.

## 9.7 Immissionsberechnung

Für eine Modellierung der Luftschadstoffbelastungen im Rahmen eines UVM werden besondere An-

forderungen an die Immissionsberechnungen gestellt, die teilweise über die Anforderungen z. B. in der Modellierung in der Luftreinhalteplanung hinausgehen. Im Rahmen eines UVM sind Berechnungen der aktuellen Schadstoffkonzentrationen für ein oder mehrere Hotspots in nahezu Echtzeit erforderlich. Daraus folgt, dass die Rechenzeiten dieser Modellierung möglichst gering sind. Da allein auf Grund der zeitlichen Verfügbarkeit der erforderlichen Eingangsdaten die Ergebnisse eines entsprechenden Monitorings schon mehrere Minuten nach der zu beurteilenden Zeitspanne zur Verfügung stehen können, sollte die Immissionsberechnung selbst auch nur wenige Minuten dauern.

Aufgrund der Komplexität der Emissions- und Ausbreitungsverhältnisse in einer Stadt und in einem eng bebauten Hotspot müssen die zu verwendenden Ausbreitungsmodelle für den urbanen Hintergrund und für den Hotspot getrennt voneinander laufen und für die jeweilige räumliche Skala optimiert sein. Für die urbane Skala kommen dabei sogenannte Regionalmodelle und für einen Hotspot sogenannte Detailmodelle zum Einsatz. Eine Beschreibung dieser Modelltypen sowie der Anwendungsmethodik liegt beispielsweise in LUBW (2015) vor. Ebenso sollte beim Einsatz von Ausbreitungsmodellen die VDI-Richtlinie 3783 Blatt 14 zur Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung für kraftfahrzeugbedingte Immissionen (KRdL, 2013) berücksichtigt werden.

## 9.8 Vorhersagen

Bei der Schaltung von Maßnahmen wie Verkehrsinformation, Drosselung, Zuflussdosierung oder Tempolimits, die zur Reduktion der  $\text{NO}_2$ -Belastung führen sollen, ist eine Auslösung auf Basis von Monitoringwerten grundsätzlich ausreichend. Eine statistische Kurzfristvorhersage z. B. für die folgende Stunde für den Kfz-Verkehr und die Umweltdaten verbessert die Trefferquote der effektiven Anwendung der Maßnahmen, ohne dass dabei Kosten für Vorhersageinformationen von Drittanbietern entstehen.

Für harte Maßnahmen (Verkehrsumleitungen, Fahrverbote) ist wegen der notwendigen Vorlaufzeit und, damit sich der Verkehrsteilnehmer darauf einstellen kann, eine Mittelfristvorhersage z. B. für den aktuellen und den folgenden Tag nötig.

Da für PM10 das Tagesgrenzwertkriterium relevant ist, muss auf ganztägige Maßnahmenwirkungen abgestellt werden und damit ist auch immer eine Tagesvorhersage nötig. Dies kann ebenfalls über ein statistisches Modell oder auch eine Kombination aus einem Chemie-Transport-Modell CTM für die Hintergrundbelastung plus einem Emissions- und Ausbreitungsmodell für die Zusatzbelastung erfolgen. In den Fällen einer mittelfristigen Vorhersage ist es notwendig, qualitative Vorhersagedaten der Meteorologie für den Vorhersagezeitraum nutzen zu können.

## 10 Zusammenfassung

Zu Beginn des Projekts wurde eine Liste der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen UVM-Systeme erstellt und daraus die Systeme in Berlin, Braunschweig, Erfurt, Hagen, Köln, Lutherstadt Wittenberg, Potsdam, Rostock, Weimar sowie zweier Autobahnen in Österreich detailliert beschrieben. Von diesen wurden, in Abstimmung mit dem Betreuerkreis, für die weiteren Forschungsarbeiten die Untersuchungsgebiete Braunschweig, Erfurt, Potsdam, Lutherstadt Wittenberg und Steiermark (Österreich) ausgewählt.

Basierend auf den umfangreichen Datengrundlagen aus den genannten Untersuchungsgebieten wurden Analysen zu folgenden Einzelaspekten durchgeführt:

- Darstellung der Evaluierungsergebnisse aus Voruntersuchungen,
- Analyse von Schwellenwerten zur Auslösung von Maßnahmen,
- Analyse der Verfügbarkeit von Eingangsdaten für die Modellierung,
- Analyse der Qualität von Eingangsdaten,
- Ermittlung von Anforderungen an die zeitliche Auflösung,
- Evaluierung von Vorhersagen und
- Analyse von Befolgungsraten.

Folgende Ergebnisse lassen sich zusammenfassend darstellen:

Die bestehenden UVM-Systeme sind technische Systeme zur dynamischen Umsetzung von Luftreinhaltmaßnahmen. Sie eignen sich für die Aktivie-

rung von temporären Maßnahmen, die eine Verringerung der Luftschadstoffbelastung an Hotspots hervorrufen, ohne dabei neue Betroffenheiten (im Sinne von Grenzwertüberschreitungen in anderen Bereichen) hervorzurufen. Darüber hinaus stellen sie mithilfe eines netzweiten kontinuierlichen Verkehrs-, Emissions- und Immissionsmonitorings in den meisten Fällen die technische Grundlage für eine gesamtstädtisch bilanzierte Verringerung der Luftschadstoffbelastung dar.

Die UVM-Systeme in den betrachteten Untersuchungsgebieten zeigen eine große Bandbreite der möglichen funktionalen und technischen Ausgestaltung. Die konkreten Anforderungen an die jeweilige lokale Lösung und die technischen Voraussetzungen bestimmen maßgeblich den Umfang und die Komplexität der Systeme.

UVM-Systeme bilden die Grundlage, um UVM-Maßnahmen temporär dynamisch zu aktivieren. Das ist immer dann angezeigt, wenn eine dauerhafte statische Umsetzung aus der Abwägung mit anderen Aspekten nicht sinnvoll umsetzbar ist. Die Systeme beinhalten dazu ein sogenanntes Umweltmodul zur räumlichen und zeitlichen Analyse und Vorhersage der Luftschadstoffkonzentration auf Basis von Luftmessdaten und dem Einsatz von entsprechenden Berechnungsmodellen. Zur Einbeziehung von Vorhersagen in die Aktivierung von UVM-Maßnahmen sind Vorhersagemodelle notwendig.

Komplexe UVM-Systeme beinhalten ein Verkehrsmodul zur räumlichen und zeitlichen Analyse und Vorhersage der Verkehrslage auf Basis von Verkehrsdetektordaten und ggf. dem Einsatz von Floating-Car-Daten und Online-Verkehrsmodellen. Bei einem gesamtstädtischen Verkehrsmonitoring sind entsprechende Verkehrsmodelle erforderlich.

Als Ergebnis der Abfrage der Betriebserfahrungen kann festgestellt werden, dass die laufenden UVM-Systeme im Realbetrieb zuverlässig arbeiten, von Behörden, Wirtschaft und Bürgern akzeptiert sind und zur Luftschadstoffminderung beitragen. Die Auswertungen der Evaluierungen zeigen, bezogen auf den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert, dass die in den Untersuchungsgebieten Braunschweig, Erfurt und Potsdam im Realbetrieb ermittelten Minderungen im einstelligen Prozentbereich liegen. Bezogen auf die PM10-Tagesgrenzwertüberschreitung liegt die im Untersuchungsgebiet Wittenberg ermittelte Reduzierung im Bereich weniger Überschreitungstage. Höhere Minderungsraten sind bei Verschärfung

der Schwellenwerte und/oder der Einbeziehung härterer Maßnahmen, wie eine stärkere Drosselung oder selektive Fahrverbote, erreichbar.

Die Kosten- und Wirkungsanalyse zeigt, dass UVM-Maßnahmen ein gesamtwirtschaftlich positives Kosten-Nutzen-Verhältnis haben, wenn sie als Maßnahmen eine Verkehrsverflüssigung erreichen, womit neben positiven Gesundheitswirkungen auch positive Wirkungen bei den Kfz-bezogenen Indikatoren verzeichnet werden. Es zeigt sich aber auch, dass die durch UVM-Systeme beabsichtigten positiven Wirkungen im Hotspot im Nutzenbereich der menschlichen Gesundheit nicht im gesamten Wirkungsbereich zu einem positiven Saldo führen. Der Umweltsaldo hängt ganz entscheidend von der Fahrleistung unter Berücksichtigung etwaiger Umleitungsstrecken und daraus neu entstehenden Belastungen ab.

Aus der Analyse der einzelnen Maßnahmen ist bei Verkehrsverlagerungen die Frage relevant, inwieweit Alternativrouten vorhanden sind. Eine höhere Gesamtfahrleistung führt zunächst bei den verkehrlichen Indikatoren zu einem negativen Saldo. Zugleich kann der Gesundheitsnutzen negativ ausfallen, wenn die Alternativrouten lang sind und durch bewohntes Gebiet verlaufen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Verlagerungen auch mit der Intention veranlasst werden, dass lokale Grenzwertüberschreitungen von PM<sub>10</sub> oder NO<sub>2</sub> vermieden werden müssen. Es geht dann darum, lokal zu entlasten und dafür in Kauf zu nehmen, dass höhere Belastungen an anderer Stelle auftreten können. Dadurch darf es dann aber nicht zu neuen Grenzwertüberschreitungen kommen. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Nutzen-Kosten-Analyse im gesamten Wirkungsraum kann dabei durchaus auch negativ ausfallen. Dafür werden potenzielle hohe Strafzahlungen bei entsprechenden Grenzwertüberschreitungen ggf. vermieden, die die Kosten eines UVM-Systems bei weitem übersteigen können. Weiterhin zeigt der Vergleich einer realisierten dynamischen Lösung mit einer fiktiven dauerhaften Lösung im Untersuchungsgebiet Wittenberg einen deutlichen Vorteil zugunsten der dynamischen Lösung.

Als ein weiteres Ergebnis des Forschungsvorhabens wurden Empfehlungen zum Einsatz von UVM-Systemen und geeigneten Maßnahmen gegeben.

Für insgesamt 11 UVM-Maßnahmen, die im Rahmen der Realisierung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements als geeignet bewertet, bisher geplant oder umgesetzt wurden, wurde ein Entscheidungsschema entwickelt, mit dem eine Maßnahmenauswahl erfolgen kann.

Die Wirkung einer UVM-Maßnahme hängt entscheidend von der Aktivierungsrate ab, die durch die Festlegung der Schwellenwerte zur Maßnahmenaktivierung bestimmt wird. Sie ist Resultat einer Abwägung zwischen luftschadstoffseitiger Minderungswirkung und verkehrlicher Eingriffstiefe sowie der Akzeptanz der Aktivierungshäufigkeit. Die Festlegung der Schwellenwerte wird i. Allg. zunächst auf Basis von Voruntersuchungen festgelegt. Sie kann dann im Rahmen des Probetriebes verifiziert und bei geänderten Rahmenbedingungen im Realbetrieb einfach angepasst werden.

Verkehrsmodule eines UVM-Systems benötigen zur Verkehrslageanalyse und -vorhersage sowie zur Wirkungsermittlung umfangreiche Eingangsdaten. Dazu zählen Verkehrsstärke, Flottenzusammensetzung, Verkehrszustand (Level of Service, LOS), welcher für die Emissionsberechnung konform zum Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) sein muss, und ggf. die Fahrgeschwindigkeit, um daraus den Verkehrszustand abzuschätzen. Hinsichtlich der zeitlichen Auflösung der verkehrlichen Eingangsdaten haben sich 5-Minuten-Werte als geeignet erwiesen.

Die Umweltmodule benötigen zum Monitoring und zur Vorhersage sowie zur Wirkungsermittlung ebenfalls umfangreiche Eingangsdaten, zu denen neben den verkehrlichen Eingangsdaten insbesondere Winddaten, Luftschadstoffimmissionen im Hintergrund und ggf. am Hotspot, Ozonkonzentrationen im Hintergrund, Globalstrahlung und Temperatur gehören. Hinsichtlich der zeitlichen Auflösung haben sich 30-Minuten oder 60-Minuten-Werte als geeignet erwiesen.

Die Berechnung der verkehrlichen Emissionen erfolgt im Allgemeinen mit dem aktuellen HBEFA. Die dazu notwendigen Flottenzusammensetzungen sollten die regionalen Besonderheiten, mindestens zur PKW- und Linienbusflotte, berücksichtigen. Bei entsprechender Relevanz sind die aktuellen Ansätze zur Ermittlung der PM<sub>10</sub>-Emissionen für Aufwirbelung und Abrieb zu berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung ist eine HBEFA-konforme Ermittlung des Verkehrszustands (Level of Service).

Die Ergebnisse der Berechnungen der Immissionen sollte, ebenso wie die der Berechnung der Emissionen und der Verkehrslage, wenige Minuten nach der zur beurteilenden Zeitspanne zur Verfügung stehen. Sollte der urbane Hintergrund modelliert werden, dann sind aufgrund der Komplexität die entsprechenden Ausbreitungsmodelle für den urbanen Hintergrund und den Hotspot getrennt voneinander zu betreiben und für die jeweilige räumliche Skala in der Rechenzeit zu optimieren.

Um eine Minderung der  $\text{NO}_2$ -Konzentration zu erzielen, ist für eine Aktivierung von Maßnahmen wie Zuflussdosierung oder Geschwindigkeitsbeschränkung und für eine aktuelle Verkehrsinformation die Verwendung von Analysewerten (Monitorwerten) ausreichend. Für eine Aktivierung von Maßnahmen zur Verkehrsumleitung und für Fahrverbote ist wegen der notwendigen Vorlaufzeit der Information an die Verkehrsteilnehmer eine Mittelfristvorhersage, mindestens für den Folgetag, erforderlich. Gleiches gilt wegen des Tagesgrenzwertes für  $\text{PM}_{10}$  grundsätzlich bei einem Auslösekriterium bezüglich  $\text{PM}_{10}$ .

Abschließend kann gesagt werden, dass anhand der durchgeführten Analysen bestehender Systeme ein stärkeres Verständnis der technischen Eigenschaften, Möglichkeiten und Kosten im Realbetrieb erarbeitet werden konnte. Für potenzielle Nutzer wurde ein Entscheidungsschema zur Konzeption eines solchen Systems zu Verfügung gestellt. Es bleiben aber trotzdem Fragen offen, wie z. B. nach den Minderungspotenzialen bei der Schaltung „harter“ Maßnahmen oder beim stadtweiten Einsatz sowie nach weiteren Nutzungsmöglichkeiten der Systeme (wie z. B. für die Überwachung von aus Immissionsdaten abgeleiteten Fahrzeugemissionen unter Realbedingungen). Dies sollte im Rahmen weiterer Projekte untersucht werden.

## Literatur

39. BImSchV, 2016: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV). In der Fassung vom 10.10.2016. BGBl. I S. 2244. 2016.
- ASFİNAG, 2008: Verkehrsbeeinflussungsanlage Umwelt Steiermark in Betrieb. Pressemitteilung vom 15.12.2008. Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFİNAG). 2008.
- AVISO; Rau; PTV, 2017: Gesamtwirkungsgutachten zur immissionsseitigen Wirkungsermittlung der Maßnahmen der 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans Stuttgart. Abschlussbericht. Erstellt von Aviso GmbH, Ingenieurbüro Rau und PTV TC AG. Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart. 2017.
- BERKOWICZ, R.; HERTEL, O.; LARSEN, S. E.; SØRENSEN, N. N.; NIELSEN, M., 1997: Modelling traffic pollution in streets. Contracting authority: Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute. Denmark, 1997.
- BMVI, 2016: Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im schienen-gebundenen öffentlichen Personennahverkehr, Version 2016. Bonn / Berlin, 2016.
- BMVI, 2016 (2): Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030. Bonn / Berlin. 2016.
- Braunschweig, 2007: Luftreinhalte- und Aktionsplan Braunschweig. Stadt Braunschweig. Erarbeitet durch das Niedersächsische Umweltministerium. 2007.
- Braunschweig, 2012: Lärminderungsplanung der Stadt Braunschweig, Lärmkartierung nach der EG-Umgebungsrichtlinie (ULR). Stand 2013, Stadt Braunschweig, Fachbereich Stadtplanung und Umweltschutz, Abteilung Umweltschutz. 2012.
- DIEGMANN, V., 2013: Potenziale des Umweltorientierten Verkehrsmanagements - eine Übersicht. In: BAST; FGSV (Hrsg.): Luftqualität an Straßen 2013. Tagungsband. Kolloquium der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 20.-21.3.2013 in Bergisch Gladbach. 2013.
- DIEGMANN, V.; GÄSSLER, G., 2009: Air Quality Management - From Traffic Management to Environmental Traffic Management. Abstracts of the 7th International Conference on Air Quality - Science and Application, March 24-27, 2009 in Istanbul, Turkey. 2009.

- DIEGMANN, V.; MAHLAU, A.; KOHLEN, R.; KELLER, M.; STEVEN, H., 2016: Weiterentwicklung des HBEFA-Verkehrssituationsschemas. Arbeitspaket 1 im Rahmen des UBA-Forschungsvorhabens, „Ermittlung von Emissionsfaktoren von Kraftfahrzeugen unter Berücksichtigung zukünftiger Antriebskonzepte und der Vorkette von Kraftstoffen“. UFO-PLAN, FKZ 3713 47 100. Erarbeitet in Zusammenarbeit von IVU Umwelt GmbH, Freiburg, INFRAS/MK Consulting GmbH, Bern, Heinz Steven, Heinsberg und VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH, Berlin. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2016.
- DIEGMANN, V.; WIEGAND, G., 2007: Potenzial dynamischer Verkehrslenkungsmaßnahmen als Instrument der Luftreinhaltung. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 67 Nr. 4, S. 155-161. 2007.
- EICHHORN, J.; KNIFFKA, A., 2010: The numerical flow model MISKAM: State of development and evaluation of the basic version. Meteorologische Zeitschrift 19 Nr. 1, S. 81-90. 2010.
- EU, 2008: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 152, S. 1. 2008.
- Eurostat, 2016: Bevölkerung am 1. Januar nach Altersgruppe, Geschlecht und Metropolregionen. Statistisches Amt der Europäischen Union. [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=met\\_pjanagr3&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=met_pjanagr3&lang=de). Abgerufen am 26.10.2016.
- FGSV, 2014: Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung. Teil 3: Umweltsensitives Verkehrsmanagement (UVM). FGSV 210/3. Zwischenstand 14.10.2014. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV), Arbeitsgruppe Straßenentwurf. 2014.
- FGSV, 2016: Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, Entwurf 2016 (RWS 2016). Köln, 2016.
- FVT, 2013: Evaluierung der VBA-Umwelt Steiermark für den Betriebszeitraum 2011/2012. FVT Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Graz. Auftraggeber: Steiermärkische Landesregierung. 2013.
- FVT, 2016: Evaluierung der VBA-Umwelt Steiermark für den Betriebszeitraum 2015. FVT Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Graz. Auftraggeber: Steiermärkische Landesregierung. 2016.
- GAA Hildesheim, 2011: Braunschweig. Modellgestützte Voruntersuchungen zur Fortschreibung des Luftreinhalteplanes im Rahmen der NO<sub>2</sub>-Notifizierung. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt (GAA) Hildesheim. Auftraggeber: Land Niedersachsen. 2011.
- GAA Hildesheim, 2016: Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen. Jahresbericht 2015. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim. Hildesheim, 2016.
- GIESEL, R., 2014: Investitionsvoruntersuchung zu Verkehrsinformationen im Straßenverkehr. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung. Berlin 2014.
- Hamburg, 2017: 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für Hamburg. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie. 2017.
- IG-L, 2010: Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden. (Immissionsschutzgesetz - Luft, IG-L). In der Fassung vom 18.08.2010. BGBl. I Nr. 77/2010.
- IG-L Steiermark, 2014: Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 29. Oktober 2014, mit der eine immissionsabhängige Geschwindigkeitsbeschränkung auf Teilstrecken der A 2 Süd Autobahn und der A 9 Pyhrn Autobahn angeordnet wird (VBA-Verordnung - IG-L Steiermark). Immissionsschutzgesetzes Luft (IG-L) Steiermark. LGBl. Nr. 117/2014.
- INFRAS, 2014: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 3.2. INFRAS AG, Bern. Auftraggeber: Umweltbun-

- desamt, Berlin (Deutschland); Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (Schweiz); Umweltbundesamt, Lebensministerium und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien (Österreich); Trafikverket (Schweden); ADEME (Frankreich); SFT (Norwegen) und JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission). 2014.
- IVU Umwelt, 2008: Durchführung von Grundsatzuntersuchungen zur Einrichtung von Umweltzonen in Ballungsräumen Sachsen-Anhalts. Auftraggeber: Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt. 2008.
- IVU Umwelt, 2013: Bestandsaufnahme und Wirksamkeit von Maßnahmen der Luftreinhaltung. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ (UFOPLAN) 3712 43 255. Veröffentlichung UBA-Texte 26/2014. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2013.
- IVU Umwelt, 2015: IMMIS<sup>em/luft/lärm</sup> - Handbuch zur Version 6.0. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2015.
- KRdL, 2003: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Düsseldorf, 2003.
- KRdL, 2013: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung - Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 14. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2013.
- Land Steiermark, 2010: Regionales Verkehrskonzept Graz und Graz-Umgebung. Endbericht. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. 2010.
- Land Steiermark, 2015: Jahresbericht 2014. Luftgütemessungen in der Steiermark. Bericht Nr. Lu-08-2015. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. 2015.
- Land Tirol, 2008: 100 Tage VBA Umwelt Tirol. Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Verkehrsplanung. 2008.
- LISTL, G.; GERSTENBERGER, M.; NAGEL, V.; NAGEL, T., 2017: Münchner Untersuchungen. Straßenabschnitte mit Grenzwertüberschreitung für Stickstoffdioxid. Auftraggeber: Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU), Augsburg. 2017.
- LUBW, 2015: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten. Aktualisiert auf HBEFA 3.2. Leitfaden. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Erarbeitet von IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2015.
- MUGV, 2012: Luftreinhalte- und Qualitätsplan für die Landeshauptstadt Potsdam. Fortschreibung 2010-2015. Erarbeitet von VMZ Berlin Betriebsgesellschaft mbH Berlin, IVU Umwelt Freiburg und LK Argus Berlin. Hrsg.: Landeshauptstadt Potsdam. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV) des Landes Brandenburg. 2012.
- MLU Sachsen-Anhalt, 2014: Luftreinhalteplan 2013 für die Lutherstadt Wittenberg. Entwurf. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (MLU) Sachsen-Anhalt. In Zusammenarbeit mit IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2014.
- OETTL, D.; 2013: Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL Graz Lagrangian Model Vs. 13.3. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA17C, Technische Umweltkontrolle. Bericht: Lu-03-13. 2013.
- pwp, 2016: IVS-Systemarchitektur Sachsen-Anhalt. pwp-systems GmbH. 2016.
- PTV, 2016: Verkehrslagesystem Sachsen-Anhalt, Teilsystem PTV Optima. PTV Planung Transport Verkehr AG. 2016.
- REXEIS, M.; HAUSBERGER, S., 2005: Calculation of Vehicle Emissions in Road Networks with the model "NEMO". 14th Symposium Transport and Air Pollution. S. 118-127. 2005.
- RWS, 2014: Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, Entwurf 2014. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln, 2014.

- RWS, 2016: Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen, Entwurf 2016. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV). Köln, 2016.
- Stadtverwaltung Potsdam, 2016: Umweltorientierte Verkehrssteuerung. 2016.
- UBA, 2018: Luftqualität 2017. Vorläufige Auswertung. Umweltbundesamt. 2018.
- UBA Österreich, 2016: Elfter Umweltkontrollbericht. Umweltsituation in Österreich. Umweltbundesamt Österreich. Wien, 2016.
- UVM-BS, 2010: Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Braunschweig. Gemeinsamer Ergebnisbericht. Erarbeitete von IVU Umwelt GmbH, Freiburg; Bellis GmbH, Braunschweig; BLIC GmbH, Berlin; VMZ Betreiber-gesellschaft mbH, Berlin. Fördermittelgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) im Rahmen der Förderinitiative „Mobilität 21 - Beispiele für innovative Verkehrslösungen“. 2010.
- UVM-BS, 2012: Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Braunschweig - Stufe 2. Gemeinsamer Ergebnisbericht. Erarbeitete von IVU Umwelt GmbH, Freiburg; BELLIS GmbH, Braunschweig; BLIC GmbH, Berlin und WVI, Braunschweig. Fördermittelgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) im Rahmen der Förderinitiative „Mobilität 21 - Beispiele für innovative Verkehrslösungen“. 2012.
- UVM-EF-GK, 2015: Landeshauptstadt Erfurt, Stadtverwaltung (unter Mitwirkung von pwp-systems): Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE). Gesamtkonzept. Fortschreibung. Erfurt, 2015.
- Wittenberg, 2009: Aktionsplan 2008. Luftreinhaltung in der Lutherstadt Wittenberg. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (MLU) Sachsen-Anhalt. In Zusammenarbeit mit IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2009.
- Wittenberg, 2013: Entwurf Luftreinhalteplan Lutherstadt Wittenberg. 2013.
- Wittenberg, 2014: Lärmaktionsplan Stufe 2 Lutherstadt Wittenberg, Teilplan Straßenverkehr (Entwurf Arbeitsstand 17.03.2014). 2014.
- WVI, 2012: Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Braunschweig - Stufe 2. Ergebnisbericht der WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, Braunschweig. Fördermittelgeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) im Rahmen der Förderinitiative „Mobilität 21 - Beispiele für innovative Verkehrslösungen“. 2012.
- YAMARTINO, R. J.; WIEGAND, G., 1986: Development and Evaluation of Simple Models for the Flow, Turbulence and Pollutant Concentration Fields within an Urban Street Canyon. Atmospheric Environment 20 Nr. 11, S. 2137-2156. 1986.

## Anhang: Berechnungsansätze Nutzen-Kosten-Analyse (NKA)

### 1 Fahrzeiten

Die Fahrzeiten im Straßennetz des Wirkungsraums werden für Werktage Montag bis Freitag, für Samstage und für Sonntage getrennt über ein Jahr und getrennt nach leichten und schweren Fahrzeugen ermittelt. Als Leichtfahrzeug (LV) gelten Krad, Pkw mit / ohne Anhänger und leichte Lieferfahrzeuge. Als Schwerfahrzeuge (SV) gelten Lkw mit / ohne Anhänger, Sattel-Kfz und Busse. Maßgebend für die Berechnung ist das Kapitel 8.2 der Richtlinien für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (RWS, 2016). Für die Bewertung der Fahrzeitänderung zwischen Nullfall und Planfall werden die Beträge der Tabelle A-1 angesetzt.

### 2 Betriebskosten

Die Betriebskosten setzen sich aus der Fahrleistungsänderung zwischen Nullfall und Planfall und aus der Kraftstoffverbrauchsänderung im Straßennetz des Wirkungsraums zusammen. Maßgebend für die Berechnung ist das Kapitel 8.3 der RWS (FGSV, 2016).

Fahrzeugart	Werktage MO-FR	Samstag	Sonntag
	€/h	€/h	€/h
LV	16,00	13,50	16,00
SV	43,00	60,50	90,50

Tab. A-1: Wertansätze für Fahrzeiten

Bei der Berechnung des Treibstoffverbrauchs wird nach LV\_Benzin, LV\_Diesel und SV\_Diesel unterschieden. Die Betriebskosten ergeben sich aus der Summe der Nutzen aus Fahrleistungs- und Treibstoffverbrauchsänderung.

### 3 Unfallkosten

Die Veränderung von Unfallkosten zwischen dem Nullfall und dem Planfall wird streckenspezifisch berechnet und aus straßentypabhängigen Unfallkostenraten und der Fahrleistung (Summe LV und SV) abgeleitet. Maßgebend für die Berechnung ist das Kapitel 8.4 der RWS (FGSV, 2016). Die Unfallkostenraten enthalten bereits ökonomische Wertansätze für Sachschäden und Personenschäden. Nach RWS Entwurf 2016 wird ein Faktor 1,49 für Innerortsstraßen vorgesehen, der auch Folgekosten von Unfällen berücksichtigt.

### 4 Lärmbelastung

Eine Veränderung der Lärmbelastung für Einwohner zwischen dem Nullfall und dem Planfall wird für Wittenberg streckenspezifisch berechnet. Maßgebend für die Berechnung ist das Kapitel 8.5 der RWS (FGSV, 2016). Zusammen mit den Einwohnerzahlen wurden daraus Lärm-Einwohner-Gleichwerte (LEG) berechnet. Für die anderen Untersuchungsgebiete wurde auf Lärmberechnungen verzichtet, weil kein Ergebnisbeitrag zu erwarten war.

Diese LEG wurden, differenziert nach Tag- und Nachtwerten, summiert und mit einem Kostensatz von 72 € / LEG und Jahr monetär bewertet.

Fahrzeugart	€/(100 Kfzkm)
LV	12,64
SV	31,73

Tab. A-2: Wertansätze für Fahrleistungsveränderung

Treibstoffart	€/kg
LV Benzin	1,04
LV Diesel	1,01
SV Diesel	1,01

Tab. A-3: Wertansätze für Treibstoffverbrauch

Indikator		Verursacher	Effektschätzer (1/(10 <sup>6</sup> ·µg/m <sup>3</sup> ))	Wert €
Krankheitsfälle COPD (NO <sub>2</sub> )	(Anzahl/a)	NO <sub>2</sub>	14	2.400
Krankheitsfälle chronische Bronchitis (PM2.5)	(Anzahl/a)	PM2.5	35	3.800
Krankheitsfälle Asthma (PM2.5)	(Anzahl/a)	PM2.5	480	1.500
Todesfälle PM2.5	(Anzahl/a)	PM2.5	100	1.200.000
Todesfälle NO <sub>2</sub>	(Anzahl/a)	NO <sub>2</sub>	90	

Tab. A-4: Indikatoren, Effektschätzer und Wertansätze für schadstoffbedingte Wirkungen

### 5 Schadstoffbelastung

Eine Veränderung der Schadstoffemissionen zwischen dem Nullfall und dem Planfall wird streckenspezifisch auf Basis von HBEFA3.2 sowie den Fahrleistungen und Verkehrssituationen berechnet. Die Immissionsberechnungen erfolgten abweichend von der Vorgehensweise der RWS (FGSV, 2016) mit den Programmsystemen IMMIS (Untersuchungsgebiete Braunschweig und Potsdam) bzw. PROKAS (Untersuchungsgebiete Wittenberg). Für Erfurt wurden die Immissionskenngrößen und -änderungen aus Immissionsmessdaten abgeleitet.

Aus der Veränderung der streckenspezifischen Immissionskonzentrationen wird in Verbindung mit sog. „Effektschätzern“ und mit den an der Strecke wohnenden Personen eine Veränderung der Krankheitsfälle und der Todesfälle abgeleitet. Letztere sind ökonomisch bewertbar. Die aktuelle Version der RWS (FGSV, 2016) enthält folgende Effektschätzer und Kostensätze:

Die als alternative Berechnungsmethode vorgesehene Vorgehensweise in der „Standardisierte Bewertung Ausgabe 2016“ (BMVI, 2016) ist nur einsetzbar, wenn die Wirkung auf einer Fahrleistungsveränderung beruht; verkehrsverflüssigende Maßnahmen können nicht berücksichtigt werden. Als weitere alternative Vorgehensweise ist die Schadstoffbewertung nach Bundesverkehrswegeplan (BVWP) Methode (BMVI, 2016 (2)) möglich. Diese basiert auf der Veränderung von Schadstoffemissionen. Im vorliegenden Fall wurden die alternativen Vorgehensweisen zur Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse nach RWS (FGSV, 2016) eingesetzt.

### 6 Klimabelastung

Eine Veränderung der Klimabelastung zwischen dem Nullfall und dem Planfall wird streckenspezifisch auf Basis von HBEFA3.2 sowie den Fahrleistungen und Verkehrssituationen berechnet. Als Wertmaßstab werden entsprechend RWS (FGSV, 2016) 145 €/t CO<sub>2</sub> angesetzt.

## 7 Jahreskosten aus Investitionen

Als Investitionskosten gehen die anteiligen Kosten einer Ersterrichtung des UVM-Systems ein. Maßgebend für die Berechnung der Jahreskosten ist das Kapitel 9 der RWS Entwurf 2016. Für das UVM-System wird ein Abschreibungszeitraum von 10 Jahren angesetzt. Daraus leitet sich der Annuitätenfaktor für das UVM-System von 0.11723 ab.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden für alle Untersuchungsgebiete mit Ausnahme von Wittenberg als Investitionskosten 50.000 € angesetzt. Dieser Ansatz beinhaltet, dass die umfangreichen UVM-Systeme für mehrere Hotspot-Gebiete vorgesehen sind. Für das Untersuchungsgebiet Wittenberg wird mit Investitionskosten von 20.000 € die besondere Konstellation der Klappschilder-Lösung berücksichtigt.

## 8 Jahreskosten aus Betrieb

Die Jahreskosten aus Betrieb setzen sich aus den Personalkosten für den Betrieb des UVM-Systems sowie aus den erforderlichen Betriebsmitteln (Strom) zusammen. Sie werden mit den Jahreskosten aus Investitionen zu den Gesamtjahreskosten addiert.

Analog zu den Investitionskosten werden für alle Untersuchungsgebiete mit Ausnahme von Wittenberg als Betriebskosten 10.000 € pro Jahr angesetzt. Für das Untersuchungsgebiet Wittenberg gehen als Betriebskosten 5.000 € pro Jahr in die Berechnungen ein. Sie umfassen das Umklappen der Umleitungstafeln sowie die Kommunikationskosten für die Ein- und Ausschaltung der Umleitung.

## 9 Nutzen-Kosten-Verhältnis

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis NKV wird als Relation der Nutzensumme pro Jahr, bezogen auf die Kostensumme pro Jahr, berechnet. Maßnahmen mit einem Quotienten  $> 1$  werden als gesamtwirtschaftlich vorteilhaft angesehen.

Bei einer Interpretation des NKV muss berücksichtigt werden, dass es bei der Einrichtung von UVM in erster Linie darum geht, die gesetzlichen Bestimmungen zur Luftreinhaltung einzuhalten. Die Entscheidung für eine Maßnahme ist also im Falle von Grenzwertüberschreitungen zwingend. Dabei muss auch in Kauf genommen werden, dass sich Maßnahmen nach den geltenden Berechnungsmethoden als gesamtwirtschaftlich nicht vorteilhaft erweisen.

Für eine sachgerechte Entscheidung sind innerhalb der UVM-Lösung mögliche Varianten zu betrachten. Insbesondere geht es darum, durch Variieren der Schalthäufigkeit eine gesamtwirtschaftlich günstige Lösung zu finden. Für die NKA wurde daher vereinbart, neben der gewählten bzw. realisierten UVM-Lösung auch eine Lösung mit einer höheren Schalthäufigkeit bzw. einem niedrigeren Schwellenwert gegenüberzustellen. Eine weitere Variante besteht darin, das dynamische UVM-System mit der entsprechenden dauerhaften Lösung zu vergleichen.

In der im folgenden Kapitel angesprochenen Nutzwertanalyse werden die Betrachtungen ergänzend auf den Hotspot konzentriert, der den Auslöser für Handlungsbedarf darstellt.

## 10 Berechnungsansätze Nutzwertanalyse (NWA)

Die NWA ergänzt die NKA, indem sie ermöglicht, weitere Indikatoren in die Betrachtung einzubeziehen und die Wirkungen auf den eigentlichen Hotspot zu fokussieren. Im vorliegenden Fall ist sie so konzipiert, dass sie den Handlungsbedarf und den Handlungserfolg abbildet. Der Handlungsbedarf wird aus dem Nullfall abgeleitet. Der Handlungserfolg ergibt sich aus der Differenz von Nullfall und Planfall 1 (realisierter Planfall).

## 11 Räumliche Ausdehnung des Überschreitungsgebietes

Es werden die Hotspot Strecken aus Kapitel 2 ermittelt. Je länger die Hotspot Strecken im Nullfall sind, desto größer ist der Handlungsbedarf. Da es im betrachteten Referenzjahr in keinem der Untersuchungsgebiete Grenzwertüberschreitungen für  $\text{NO}_2$  oder  $\text{PM}_{10}$  gegeben hat, entfällt eine Bewertung des Handlungserfolgs.

## 12 Von Grenzwertüberschreitungen betroffene Personen

Es werden die Anzahlen von Einwohnern an den Hotspot Strecken ermittelt. Da es im betrachteten Referenzjahr in keinem der Untersuchungsgebiete Grenzwertüberschreitungen für  $\text{NO}_2$  oder  $\text{PM}_{10}$  gegeben hat, entfällt eine Bewertung der Betroffenenheiten.

## 13 Differenz von Nullfall und Planfall im Bereich Verkehr

Es werden die verkehrlichen Indikatoren Fahrzeit, Fahrleistung und Kraftstoffverbrauch auf die Hotspot-Strecken fokussiert und zur Erklärung der umweltbezogenen Indikatoren verwendet. Der zu be-

wertende Handlungserfolg ergibt sich als Differenz der beiden Fälle.

#### 14 Differenz von Nullfall und Planfall im Bereich Umwelt

Es werden die umweltbezogenen Indikatoren auf die Hotspot-Strecken fokussiert. Der zu bewertende Handlungserfolg ergibt sich als Differenz der beiden Fälle.

#### 15 Indikatoren im Bereich Wirtschaftlichkeit

Es werden die Indikatoren „Jahreskosten aus Investitionen und aus Betrieb“ zur Erläuterung des Handlungserfolgs den potenziellen Strafzahlungen bei Nichteinhaltung der Grenzwerte gegenübergestellt.

#### 16 Indikatoren aus dem Rechtsrahmen

Es werden der Befolgungsgrad und die Verhältnismäßigkeit der UVM-Maßnahmen als Größe zwischen 1 (beste Bewertung) und 5 (schlechteste Bewertung) eingeschätzt.

#### 17 Standardisierung und Gewichtung

Die Wertausprägungen der NWA-Indikatoren werden auf der Grundlage der Ergebnisse aller Untersuchungsgebiete vergleichend kommentiert. Eine Normierung und Gewichtung erfolgt nicht.

## Bilder

- Bild 1-1: Funktionsschema eines Verkehrsmanagements mit integrierter umweltsensitiver Verkehrssteuerung
- Bild 1-2: Klassifizierung der Detaillierungsgrade von UVM mit Beispielen
- Bild 2-1: Im Rahmen der UVM-Projekte betrachtete Hotspots in Braunschweig
- Bild 2-2: Übersichtskarte Braunschweig
- Bild 2-3: Lage der Luftmessstationen in Braunschweig
- Bild 2-4: Hotspotbereich Altewiekring
- Bild 2-5: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an der Messstation Braunschweig-Altewiekring
- Bild 2-6: Entwicklung der PM10-Jahresmittelwerte und Anzahl Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwerts an der Messstation Braunschweig-Altewiekring
- Bild 2-7: Hotspotbereich Hildesheimer Straße mit Standort Passivsammler
- Bild 2-8: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte an der Messstation Braunschweig-Hildesheimer Straße
- Bild 29: Überblick Gesamtsystem im UVM Braunschweig
- Bild 2-10: Betrachtungsraum Verkehrsmonitoring im UVM Braunschweig
- Bild 2-11: Systemübersicht Verkehrsmonitoring im UVM Braunschweig
- Bild 2-12: Modellierung der Luftqualität mit dem System IMMIS<sup>mt</sup> und Einsatz des Systems im UVM für einen Hotspot
- Bild 2-13: Übersicht über das Monitoringsystem IMMIS<sup>mt</sup>
- Bild 2-14: Vorhersagehorizonte in IMMIS<sup>mt</sup>
- Bild 2-15: Überblick UVM-Maßnahme Altewiekring
- Bild 2-16: Lageplan Hotspot Hildesheimer Straße, Maßnahmen 2 und 2a
- Bild 2-17: Hotspot Hildesheimer Straße, verkehrliche Wirkung der Maßnahme 2a, Stufe 3
- Bild 2-18: UVM Erfurt – Übersicht
- Bild 2-19: UVM Erfurt – Grundprinzip Zuflussdosierung
- Bild 2-20: Erfurt – Hauptstraßennetz
- Bild 2-21: UVM Erfurt – Immissionsmessstellen TLUG
- Bild 2-22: UVM Erfurt – Talstraße / Bergstraße
- Bild 2-23: UVM Erfurt – Leipziger Straße
- Bild 2-24: VMP Erfurt – Systemaufbau
- Bild 2-25: VMP Erfurt – pwpTMPlatform
- Bild 2-26: VMP Erfurt – OPTIMA
- Bild 2-27: VMP Erfurt – Strategische Verkehrssteuerung
- Bild 2-28: UVM Erfurt – Versorgung Infotafeln (Prinzipbeispiel)
- Bild 2-29: Lage und verkehrliche Anbindung des Untersuchungsgebiets in Potsdam
- Bild 2-30: Lage der Hotspots und Maßnahmen der Umweltorientierten Verkehrssteuerung in Potsdam

- Bild 2-31: Anteile der räumlichen Verkehrsarten in Potsdam 0
- Bild 2-32: Fundamentaldiagramm zur Bestimmung des Verkehrszustands nach HBEFA
- Bild 2-33: Funktionsweise des Umweltmodells IMMIS<sup>mt</sup>
- Bild 2-34: Datenfluss der umweltorientierten Verkehrssteuerung Potsdam
- Bild 2-35: Integration des Umweltmoduls in die VSMZ Potsdam
- Bild 2-36: Schwellenwerte und Maßnahmen der umweltorientierten Verkehrssteuerung und -information in Potsdam
- Bild 2-37: Geografischer Überblick der Lutherstadt Wittenberg
- Bild 2-38: Standorte der LÜSA-Messstationen in der Lutherstadt Wittenberg. Bahnstraße=Städtischer Hintergrund
- Bild 2-39: Luftbild des Bereiches Dessauer Straße zwischen Krummer Weg und Clara-Zetkin-Straße
- Bild 2-40: VL Sachsen-Anhalt – Ausschnitt Wittenberg
- Bild 2-41: VL Sachsen-Anhalt – Systemaufbau
- Bild 2-42: VL Sachsen-Anhalt – pwpTMPlattform
- Bild 2-43: Übersicht über das Umweltmodul ProFet/PROKAS<sup>online</sup> für Sachsen-Anhalt
- Bild 2-44: Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Datenbereitstellungen und Vorhersagerechnungen in ProFet-Sachsen-Anhalt
- Bild 2-45: Ausgabebildschirm für die Trendvorhersage (PM10-Tagesmittelwerte) in ProFet.
- Bild 2-46: Verkehrsbeschilderung auf der Coswiger Landstraße und der Dessauer Straße für die einseitige Lkw-Umleitung
- Bild 2-47: Streckenführung für die einseitige Lkw-Umleitung
- Bild 2-48: Tage mit Aktivierung der Lkw-Umfahrung in Wittenberg
- Bild 2-49: Autobahnkreuz A2 und A9 im Großraum Graz
- Bild 2-50: Darstellung der Teilkorridore und Messpunkte für die Verkehrserhebungen
- Bild 2-51: Lage der Messstationen im Ballungsraum Graz
- Bild 2-52: Jahresauswertung 2014 für NO<sub>2</sub> für den Ballungsraum Graz
- Bild 2-53: Funktionsschema VBA Umwelt
- Bild 2-54: Rechenmodell VBA Umwelt
- Bild 2-55: Schalthäufigkeiten 2014
- Bild 6-1: Wirkungsbereich vor, im und nach dem Hotspot Behlerstraße
- Bild 6-2: Abschnittsbezogene Reisezeiten im Wirkungsbereich Behlerstraße vor Einführung des UVM
- Bild 6-3: Abschnittsbezogene Reisezeiten im Wirkungsbereich Behlerstraße mit UVM
- Bild 8-1: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2017 nach Höhe sortiert
- Bild 9-1: Entscheidungsschema zur Maßnahmenwahl und Wahl des Umweltmoduls bei Auslösekriterium NO<sub>2</sub>
- Bild 9-2: Entscheidungsschema zur Maßnahmenwahl und Wahl des Umweltmoduls bei Auslösekriterium PM10

## Tabellen

- Tab. 1-1: Grenzwerte der 39. BImSchV
- Tab. 2-1: Quellgruppenanteile an den Immissionen im Altewiekring im Bezugsjahr 2010
- Tab. 2-2: Überschreitungszahlen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes und PM10-Jahresmittelwert (JM) sowie NO<sub>2</sub>-JM-Werte der Jahre 2010 bis 2015 an Messstationen in Erfurt
- Tab. 2-3: Kritische Bereiche der Luftschadstoffbelastung in Potsdam 7
- Tab. 2-4: Luftschadstoffbelastungen in den kritischen Bereichen in Potsdam für 2010
- Tab. 2-5: Kfz-Belastungen der kritischen Bereiche in Potsdam für 2010

- Tab. 2-6: Überschreitungszahlen des PM10-Tagesmittelgrenzwertes und des PM10-Jahresmittelwertes (JM) sowie NO<sub>2</sub>-JM-Werte der Jahre 2010 bis 2015 an den Messstationen in der Lutherstadt Wittenberg.
- Tab. 2-7: Charakterisierung der Messstationen im Ballungsraum Graz
- Tab. 2-8: Jahresauswertung 2014 für Feinstaub (PM10) für den Ballungsraum Graz
- Tab. 2-9: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2010-2014 an der Messstation Graz Don Bosco
- Tab. 2-10: Teilkorridore der VBA Umwelt Steiermark
- Tab. 2-11: Verkehrsdaten der vier Korridore im Betriebszeitraum 2011/2012
- Tab. 2-12: Schwellenwerte zur Schaltung von Tempo 100
- Tab. 3-1: Grenzwerte der 39. BImSchV
- Tab. 3-2: Umgesetzte Maßnahmen in den Untersuchungsgebieten
- Tab. 3-3: Übersicht über die von der DUH eingereichten Klagen
- Tab. 4-1: Weitere nationale UVM
- Tab. 4-2: Internationale UVM
- Tab. 6-1: UVM-Braunschweig „Altewiekring“ – Übersicht Wirkungen Teil 1
- Tab. 6-2: UVM-Braunschweig „Altewiekring“ – Übersicht Wirkungen Teil 2
- Tab. 6-3: UVM-Braunschweig „Altewiekring“ – Übersicht Wirkungen Teil 3
- Tab. 6-4: UVM-Braunschweig „Hildesheimer Straße“ – Übersicht Wirkungen Teil 1
- Tab. 6-5: UVM-Braunschweig „Hildesheimer Straße“ – Übersicht Wirkungen Teil 2
- Tab. 6-6: UVM-Erfurt – Übersicht Wirkungen
- Tab. 6-7: Wirkungen der Maßnahmen im Hotspot Behlertstraße
- Tab. 6-8: Wirkungen der Maßnahmen im Wirkungsgebiet Behlertstraße
- Tab. 6-9: UVM-Wittenberg – Übersicht verkehrliche Wirkungen
- Tab. 6-10: UVM-Wittenberg – Übersicht Wirkungen bzgl. Emission und Immission
- Tab. 6-11: Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten und der Reisezeiten je Korridor bei Aktivierung eines Tempolimits
- Tab. 6-12: Wirkung der temporären Geschwindigkeitsbeschränkung auf die Kfz-Emissionen
- Tab. 6-13: Wirkung der temporären Geschwindigkeitsbeschränkung auf die NO<sub>x</sub>-Belastung in Abhängigkeit vom Straßenabstand und im Vergleich zu einer ganzjährigen Aktivierung
- Tab. 7-1: Indikatoren für Wirkungen mit Angabe der Dimensionen und Wertansätze der NKA (Bezugszeitraum 1 Jahr)
- Tab. 7-2: Indikatoren und Dimensionen bei der NWA
- Tab. 7-3: Einstufung der Strafzahlungsgefährdung für NO<sub>2</sub> und PM10-Immissionen
- Tab. 7-4: Einstufung des Befolgungsgrades von UVM-Maßnahmen
- Tab. 7-5: Einstufung der Verhältnismäßigkeit von UVM-Maßnahmen
- Tab. 7-6: Ergebnisse der NKA- Teil 1
- Tab. 7-7: Ergebnisse der NKA- Teil 2
- Tab. 7-8: Ergebnisse der NWA für die Hotspots
- Tab. 8-1: Übersicht über die Eingangsdaten und Modelle im Online-Betrieb in den Untersuchungsgebieten
- Tab. 8-2: Zusammenstellung der Wirkungen durch die untersuchten UVM für den Planfall 1 (Referenzfall)
- Tab. 8-3: Zusammenstellung der Wirkungen durch die untersuchten UVM für den Planfall 2 (Optimierter Fall)
- Tab. 9-1: Liste der Maßnahmen
- Tab. 9-2: Entscheidungsschema zur Anforderung an das Verkehrsmodul sowie an die Kopplung zwischen Umweltmodul und Verkehrsmanagement
- Tab. 9-3: Schaltschwellen und zugeordnete Maßnahmen in den analysierten Untersuchungsgebieten

Tab. A-1: Wertansätze für Fahrzeiten

Tab. A-2: Wertansätze für  
Fahrleistungsveränderung

Tab. A-3: Wertansätze für Treibstoffverbrauch

Tab. A-4: Indikatoren, Effektschätzer und Wertansätze für schadstoffbedingte Wirkungen

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

#### 2016

**V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen**

Grahl, Skottke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer**

Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

**V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen**

Kathmann, Roggendorf, Scotti

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014**

Fitschen, Nordmann € 30,50

**V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen**

Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug,

Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

#### 2017

**V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien**

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

**V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren**

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

**V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen**

Lippold, Vettors, Steinert € 19,50

**V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten**

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

**V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten**

Geistefeldt, Sievers

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz**

Kamptner, Thümmeler, Ohmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung**

Kleine, Lehmann € 16,50

**V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle**

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

**V 288: Überholungen von Lang-Lkw – Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf**

Roos, Zimmermann, Köhler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 289: Verkehrsqualität an verkehrabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen**

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

**V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung**

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

**V 291: Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50

**V 292: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**

Burg, Schrempp, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 293: Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**

Geistefeldt, Hohmann, Estel  
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50

**V 294: Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**

Maibach, Tacke, Kießig € 15,50

**V 295: Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**

Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50

**V 296: Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße**

Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 297: Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plangleicher Knotenpunkte an Landstraßen**

Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 298: Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysensysteme**

Balck, Schüller, Balmberger, Rossol

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 299: Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**

Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

#### 2018

**V 300: Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten**

Werkenthin, Kluge, Wessolek

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 301: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**

Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 302: Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**

Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**

Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter,

Jeschke, Skottke € 19,50

- V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**  
Fitschen, Nordmann € 31,00  
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter:  
www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**  
Hartmann, Londong € 16,00
- V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**  
Lippold, Wittig  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**  
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50
- V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**  
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO<sub>2</sub>-Pilotstudie Lärm-schutzwand**  
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50
- V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**  
Wang, Oeser, Steinauer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**  
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**  
Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- 2019**
- V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**  
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50
- V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**  
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50
- V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung**  
Kappich, Westermann, Holst € 15,50
- V 316: **Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**  
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübel € 18,50
- V 317: **Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**  
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00
- V 318: **Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen**  
Wolf, Berger, Bärwolf 15,50
- V 319: **Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen**  
Lippold, Veters, Ressel, Alber  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 320: **Einsatzbereiche und Entwurfsэлеmente von Rad-schnellverbindungen**  
Malik, Lange, Andriess, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00
- V 322: **Automatisch gesteuerte Streustoffausbringung durch Nutzung neuer mobiler Sensoren**  
Hausmann € 18,00
- V 323: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2016**  
Fitschen, Nordmann € 31,50  
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter:  
www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00
- V 325: **Entwurfsparameter von Hochleistungsstraßen innerhalb bebauter Gebiete**  
Schmitt, Gerlach, Schwedler, Huber, Sander  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- 2020**
- V 321: **Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement**  
Diegmann, Wursthorn, Breitenbach, Düring, Schönharting, Kraus, Klemm, Voigt, Kohlen, Löhner € 20,00

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Web-site finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.