

Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 189

bast

Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen

von

Ingo Düring, Achim Lohmeyer, Franziska Pöschke
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. Kg, Radebeul

unter Mitarbeit von

Gerd-Axel Ahrens, Christian Bartz, Rico Wittwer
TU Dresden, Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung

Udo J. Becker, Falk Richter, Wolfram Schmidt
TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie

Kaarle Kupiainen, Liisa Pirjola, Ana Stojiljkovic,
Aleksi Malinen, Harri Portin

NORDIC ENVICON Oy (Helsinki) und
Metropolia Helsinki University of Applied Sciences

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 189

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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.486/2006:
Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen

Projektbetreuung
Anja Baum

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

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-985-3

Bergisch Gladbach, Januar 2010

Kurzfassung – Abstract

Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen

Ziel des Projektes war es, den Behörden und Kommunen Hinweise auf die Wirkung von Verkehrsberuhigungen zu geben.

Es wurden an der Merseburger Straße in Halle (4-streifige Hauptverkehrsstraße mit ca. 32 000 Kfz/d, Straßenbahn auf eigenem Gleisbett in Mittel-lage) mit dem mobilen Messfahrzeug SNIFFER im Zeitraum 21.4. bis 10.5.2008 NO_x-, PM2.5- und PM10-Konzentrationen sowie ein Maß für den durch SNIFFER indizierten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktor räumlich und zeitlich differenziert erfasst. Weiterhin erfolgten an zwei Tagen ebenfalls mittels eines Messfahrzeuges messtechnische Analysen des Verkehrsflusses.

Die an der Merseburger Straße durchgeführten verkehrsberuhigenden Maßnahmen (Tempo 30-Signalisierung, an ausgewählten Tagen zusätzlich Displays zur Anzeige der Fahrzeuggeschwindigkeit sowie angekündigte bzw. durchgeführte Radarkontrollen) führten zu nachweisbaren Reduktionen der mittleren Reisegeschwindigkeiten bis 8 km/h. Die größten Reduktionen wurden dabei an den Tagen festgestellt, an denen Radarkontrollen durchgeführt wurden oder der Verkehrsteilnehmer (oder Fahrzeugführer) durch ein Hinweisschild „Geschwindigkeitskontrolle“ mit diesen rechnen musste. Allerdings hielten auch da nur ca. 15 % der Fahrzeuge das signalisierte Tempolimit von 30 km/h ein.

Ca. 12 % bis 19 % der Fahrzeuge waren trotz Hinweisschilds und Geschwindigkeitsdisplays während der Radarkontrollen schneller als 41 km/h. Relevante Veränderungen des Verkehrsflusses (Stand-, Konstantfahrt- und Beschleunigungsanteile) waren durch die Maßnahmen nicht zu verzeichnen.

Auf den Straßenabschnitten der Merseburger Straße, auf denen der Verkehrsfluss gleichmäßig war, konnte eine signifikante positive Korrelation zwischen dem Maß für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren und der Fahrzeuggeschwindigkeit festgestellt werden. Daraus lässt sich eine Minderung von 20 % für die Werk-tage mit wirksamen verkehrsberuhigenden Maßnahmen ableiten. Falls es gelingen würde, dass alle Fahrzeuge das Tempolimit von 30 km/h bei gleichem Verkehrsfluss einhalten würden, dann ergäbe

sich aus den abgeleiteten Korrelationsfunktionen ein maximales Minderungspotenzial von 40 % bis 50 %. An Straßenabschnitten, an denen der Verkehrsfluss ungleichförmiger war, konnte keine solche Korrelation gefunden werden. Hier spielen wahrscheinlich andere Einflüsse (z. B. das Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge) eine stärkere Rolle.

Die untersuchten Maßnahmen an der Merseburger Straße in Halle hatten somit einen, wenn auch geringen, positiven Effekt auf die PM10-Belastung an der Messstelle HEVC.

Die nach HBEFa klassifizierte Verkehrssituation hatte im Messzeitraum keinen signifikanten Einfluss auf die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren. Der im derzeitigen PM10-Emissionsmodell ange-setzte starke Anstieg der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren für Straßen mit schlechtem Verkehrsfluss, welcher sich aus einer Vielzahl von ausgewerteten Immissionsmessungen ableitete, spiegelte sich nicht wider.

Signifikant niedrigere Werte des mit SNIFFER ermittelten Maßes für die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren wurden trotz des dort vorliegenden schlechten Fahrbahnzustandes nur in der Turmstraße festgestellt. Optisch wesentlichster Unterschied zu den anderen Straßenabschnitten war dort neben dem sehr schlechten Straßenzustand eine sehr glatte Oberfläche der großen Asphaltflickstellen relativ zu den anderen Straßenoberflächen und die nur einseitig dichte Straßenrandbebauung in Nord-Süd-Ausrichtung. Die anderen Straßenabschnitte sind entweder beidseitig bebaut oder ost-west orientiert.

Im Messzeitraum führten die gepflasterten Fahrbahnoberflächen nicht zu einem deutlich höheren SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor. Allerdings musste SNIFFER auf diesen auch deutlich langsamer als auf den anderen Straßenabschnitten fahren.

Influence of traffic calming measures on the PM10 concentration on streets

The aim of this project was to provide to the communities and administrations details concerning the effect of traffic calming measures.

The NO_x, PM2.5 and PM10 concentrations as well as a rate for the non-exhaust PM10 emission factor, indicated by the mobile measurement vehicle SNIFFER, were acquired spatially and temporally differentiated in the period of time from 21.4. till 10.5.2008 on Merseburger Straße (four-lane main road with approx. 32 000 veh/d, tram line on its own road bed in the middle position) in Halle (Saale). Measuring and technical analysis of the traffic flow took place on two further days also by means of the "floating car" method.

The traffic calming measures carried out on Merseburger Straße (30 km/h speed limit-signalling, extra displays for the indication of vehicle speed on selected days as well as announced and implemented respectively radar speed checks) led to the verifiable reductions of the average driving speed up to 8 km/h. The highest reductions thereby were fixed on these days, during which radar speed checks were carried out or the traffic participants (or vehicle drivers) had to bargain for it by a road sign "Speed Monitoring". However, approx. 15% of vehicles only followed the speed limit of 30 km/h there.

Approximately 12% to 19% of vehicles were in spite of the road sign and speed display during the radar speed checks faster than 41 km/h. There were no relevant changes observed in the traffic flow (stop, continuous speed and accelerating/ decelerating shares) during the measure.

A significantly positive correlation between the rate for the non-exhaust SNIFFER-PM10 emission factors and the vehicle speed could be detected on the street sections of Merseburger Straße where the traffic flow was steady. A reduction of approx. 20% for the weekdays with effective traffic calming measures can be deduced. If all vehicles would follow the speed limit of 30 km/h by constant traffic flow, it might be possible to reach a maximum reduction potential of approx. 40% to 50% from the deduced correlation functions. Such a correlation could not be found on the street sections, on which the traffic flow was not so homogeneous. Probably other more relevant factors (as for example the

accelerating/decelerating behaviour of the vehicles) played a major role here.

The studied measures on Merseburger Straße in Halle had therefore a positive effect, even though a little one, on the PM10 concentration at the measuring point named HEVC.

The traffic situation, classified according to HBEFA (Handbook of emission factors), had no significant influence on the SNIFFER-PM10 emission factors in the measuring period of time. The strong increase of the non-exhaust PM10 emission factors for streets with a bad traffic flow, implemented in the present PM10 emission model and deviated from a lot of evaluated concentration measurements, did not appear.

Significantly low values of by SNIFFER fixed rates of the non-exhaust PM10 emission factors were determined alone on Turmstraße in spite of its bad road surface condition. The most visually essential difference to the other street sections was firstly, beside a very bad street condition, a very smooth surface of the large asphalt mends relative to other street surfaces there and secondly, the building density only on one side along the street in the North-South direction. The other street sections are either built up on both sides or oriented in the East-West direction.

The cobbled roadway surfaces didn't lead to an increase of SNIFFER-PM10 emission factor. However, SNIFFER had also to drive much slower on these roads than on the other street sections.

Inhalt

1	Aufgabenstellung	7	5	Ergebnisse	24
2	Vorgehensweise	7	5.1	Verkehrsbelegungen im Straßennetz ..	24
2.1	Literaturauswertung	7	5.2	Verkehrssituationen und Fahrzeug- geschwindigkeiten	28
2.2	Messungen	7	5.3	Befolgungsgrad der Geschwindig- keitsbeschränkung	31
2.3	Ermittlung Verkehrssituationen	7	5.4	Meteorologische Bedingungen im Messzeitraum	32
2.4	Datenauswertung	8	5.5	Auswertung der Konzentrations- und Emissionsdaten	33
3	Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse	8	5.5.1	Stationäre Messungen	33
3.1	Ausgangssituation	8	5.5.2	SNIFFER-Messungen/Überblick	36
3.2	Verkehrsberuhigung	8	5.5.3	SNIFFER-Messungen/Detailaus- wertungen	41
3.3	Verkehrsberuhigende Maßnahmen ...	9	6	Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Messungen bzgl. Wirkung der verkehrsberuhigen- den Maßnahmen	49
3.4	Auswirkungen verkehrsberuhigender Maßnahmen	10	7	Einfluss der Verkehrssituationen sowie der Fahrbahneigenschaften auf die SNIFFER-Messdaten	50
3.5	Verkehrliche Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub	12	7.1	Aufgabenstellung	50
3.6	Einfluss Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM _x -Emission	13	7.2	Analyse und Bewertung der Fahrbahnoberflächen	51
4	Feldversuch zur Bestimmung des Einflusses verkehrsberuhigender Maßnahmen auf die PM_x-Be- lastung	18	7.2.1	Allgemeine Beschreibung der Straßenabschnitte	51
4.1	Auswahl der Messstrecke	18	7.2.2	Methodik zur Charakterisierung des Straßenzustandes im Sinne der nicht-motorbedingten PM ₁₀ - Emission	53
4.2	Untersuchungsgebiet und Messzeitraum	19	7.2.3	Kenngrößen und Ergebnisse für die untersuchten Straßenabschnitte	57
4.3	Untersuchte „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen	19	7.3	Verkehrssituationen auf dem Stra- ßennetz im Untersuchungsgebiet	58
4.4	Beschreibung der eingesetzten Mess- und Analyseverfahren	21	7.4	Korrelation der Verkehrssituationen unter Berücksichtigung der Fahrbahn- zustände mit den SNIFFER-PM ₁₀ - Emissionsfaktoren	59
4.4.1	Messfahrzeug SNIFFER	21			
4.4.2	Bestimmung Verkehrssituationen und Fahrzeuggeschwindigkeiten	22			
4.4.3	Verkehrszählungen	24			
4.4.4	Immissionsdaten in Halle	24			
4.4.5	Meteorologische Daten in Halle	24			

8	Zusammenfassung	62
9	Danksagung	67
10	Literatur	68

Hinweise

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel „Literatur“ findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommata. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

Erläuterungen von Fachausdrücken

Emission/Immission

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Milligramm Schadstoff pro Kilometer oder anderen Emittenten in Gramm pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist μg (oder mg) Schadstoff pro m^3 Luft.

Hintergrundbelastung/Zusatzbelastung/ Gesamtbelastung

Als Hintergrundbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersu-

chenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder mg/m^3 angegeben.

Verkehrssituation

Emissionen und Kraftstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge (Kfz) hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten ab, das durch unterschiedliche Betriebszustände wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. charakterisiert ist. Das typische Fahrverhalten kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Verkehrssituationen werden sowohl durch bauliche bzw. verkehrsorganisatorische Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung, vor allem aber durch das reale Fahrverhalten repräsentierende Fahrverhaltenskennwerte wie Reisegeschwindigkeit, Standanteil, Anteil Konstantfahrt etc. charakterisiert. In der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ sind für verschiedene Verkehrssituationen Angaben über Schadstoffemissionen angegeben.

Feinstaub/PM10/PM2.5

Mit Feinstaub bzw. PM10 werden alle Partikel bezeichnet, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von 10 bzw. 2.5 μm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

1 Aufgabenstellung

Die 22. BImSchV setzt Grenzwerte für Konzentrationen von Partikeln mit aerodynamischen Durchmessern kleiner 10 µm (PM10) in der Luft fest. Die Einhaltung insbesondere des Tagesgrenzwertes (max. 35 Überschreitungen von 50 µg/m³ im Jahr erlaubt) bereitet innerstädtisch große Schwierigkeiten und es werden im Zuge der Luftreinhalteplanung effektive Minderungsmaßnahmen benötigt. Neben fahrzeugtechnischen Maßnahmen werden dabei auch Eingriffe in das Verkehrsgeschehen zur Erreichung der vorgegebenen Ziele diskutiert. Unter anderem werden dabei verkehrsberuhigende Maßnahmen als ein Mittel mit PM10-Minderungspotenzial genannt.

Ziel des Projektes ist es, den Kommunen und zuständigen Immissionsschutzbehörden bei der Durchführung von Maßnahmen im Zuge von Luftreinhalte- und Aktionsplanungen zur Senkung der innerstädtischen Partikelbelastung Hinweise auf die Wirkung von Verkehrsberuhigungen zu geben. Der Schwerpunkt sollte dabei auf der messtechnischen Erfassung im Rahmen eines Feldversuches liegen.

Zusätzlich sollen die bei diesen Feldversuch gewonnenen Daten in Bezug auf den Einfluss unterschiedlicher Verkehrssituationen (Verkehrsfluss) sowie Material und Zustand der Fahrbahnoberflächen ausgewertet werden.

2 Vorgehensweise

Zur Erreichung des Projektziels wurde folgendermaßen vorgegangen:

2.1 Literaturlauswertung

Aufbauend auf der für das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) und der Bundesanstalt für Straßenwesen in den Jahren 2003/2004 sowie 2006 durchgeführten Literaturrecherche zur PM10-Emissionsmodellierung (LOHMEYER, 2004a und b; LOHMEYER, 2008) wurden aktuelle nationale und internationale Ergebnisse von Forschungsprojekten sowie weitere Literatur zu den bisher gewonnenen Erkenntnissen über verkehrsberuhigende Maßnahmen im Allgemeinen und deren Einfluss auf die PM_x-Belastungen (PM10 und kleiner) an Straßen im Besonderen analysiert und

systematisiert. Hier wurde insbesondere auch darauf Bezug genommen, welche verkehrsberuhigenden Maßnahmen existieren, welche in der Praxis umgesetzt werden und wie anhand von konkreten Beispielen deren Wirkung auf Verkehrsmengen (lokal und netzwirksam), Verkehrssituation (Fahrzeuggeschwindigkeiten, Verkehrsfluss) und PM10-Emissionen bzw. -Immissionen einzuschätzen ist.

2.2 Messungen

Da die Modellierung der PM10-Minderungspotenziale aus „verkehrsberuhigenden“ Maßnahmen derzeit nicht oder nur sehr unbefriedigend durchgeführt werden kann, wurde der Schwerpunkt der Bearbeitung in einer messtechnischen Erfassung und Bewertung gesehen. Hierbei ist die Situation vor Umsetzung der Maßnahme(n) und nach Umsetzung der Maßnahme(n) zu untersuchen. Da „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen sowohl mit lokalen als auch netzwirksamen Veränderungen in Verkehrsmengen, Verkehrsfluss und damit in der PM10-Emission/Immission verbunden sein können, war eine punktuelle messtechnische Erfassung der Auswirkungen nicht ausreichend. Es wurde deshalb die Betrachtung innerhalb eines Untersuchungsgebietes, dessen Größe anhand der konkreten strukturellen Situation festgelegt worden war, durchgeführt. Für die Messkampagne wurde die Merseburger Straße in Halle (Saale) ausgewählt. Das Untersuchungsgebiet beinhaltete sowohl die Merseburger Straße mit den verkehrsberuhigenden Maßnahmen als auch anliegende Straßen, die für mögliche Verdrängungseffekte infrage kamen. Auf diesem Straßennetz war dann die verkehrliche und immissionsseitige Situation vor und nach Umsetzung der Maßnahme zu untersuchen. Für die räumlich differenzierte messtechnische Ermittlung der Immissionssituation wurde das mobile Messfahrzeug SNIFFER (KUPIAINEN et al., 2005) eingesetzt.

2.3 Ermittlung Verkehrssituationen

Die Ermittlung der Verkehrssituationen auf dem zu untersuchenden Straßennetz wurde durch die TU Dresden, Institut für Verkehrsökologie, durchgeführt. Für diese Straßenabschnitte wurden dazu Messfahrten nach der so genannten „Floating car“-Methode durchgeführt. Dabei schwimmt das Messfahrzeug im Verkehrsfluss mit und misst – mit einem angebauten Peiseler-Messrad – in Sekun-

denschritten die zurückgelegte Wegstrecke und die momentane Geschwindigkeit. Diese Messdaten wurden nach statistischen Verfahren ausgewertet und mit den charakteristischen Größen der Verkehrssituationen des Handbuches für Emissionsfaktoren (HBEFA) verglichen. Daraus resultieren dann die Zuordnungen zu den Verkehrssituationen.

2.4 Datenauswertung

Die Immissionsdaten (NO_x , PM_x) an der in der Merseburger Straße gelegenen verkehrsbeeinflussten Dauermessstelle sowie einer im städtischen Hintergrund (NO_x , PM_x und Meteorologie) eingesetzten Station wurden ausgewertet. Diese Daten wurden auch zum punktuellen Abgleich mit den Ergebnissen des mobilen Messfahrzeuges verwendet. Somit liegen erstmals netzbezogen ermittelte Messergebnisse aus der SNIFFER-Befahrung, aber auch zusätzlich punktuell unter Berücksichtigung der Meteorologie abgeleitete Konzentrations- und Emissionsveränderungen (mittels der bewährten NO_x -Tracermethode) vor.

Diese Ergebnisse wurden zusammen mit den Ergebnissen der Literaturlauswertung systematisiert und in Bezug auf die verkehrsplanerischen Aspekte hin diskutiert.

3 Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse

3.1 Ausgangssituation

Die 22. BImSchV setzt Grenzwerte für Konzentrationen von Partikeln mit aerodynamischen Durchmessern kleiner $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) in der Luft fest. Messungen der verschiedenen Bundesländer zeigen Überschreitungen der Grenzwerte.

Die Einhaltung insbesondere des Tagesgrenzwertes (maximal 35 Überschreitungen von $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr erlaubt) bereitet innerstädtisch Schwierigkeiten und es werden im Zuge der Luftreinhalteplanung effektive Minderungsmaßnahmen benötigt. Neben fahrzeugtechnischen Maßnahmen werden dabei auch Eingriffe in das Verkehrsgeschehen zur Erreichung der vorgegebenen Ziele diskutiert. Unter anderem werden dabei „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen, das heißt Maßnahmen zur Reduktion des Geschwindigkeitsniveaus bzw. zur Verstetigung des Verkehrsflusses auf niedrige-

rem Geschwindigkeitsniveau auch auf Hauptverkehrsstraßen, als ein Mittel mit PM_{10} -Minderungspotenzial genannt.

3.2 Verkehrsberuhigung

Seit Beginn der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts gewann die Verkehrsberuhigung, das heißt die Verlangsamung des motorisierten Verkehrs, in der kommunalen Planungspraxis zunehmend an Bedeutung. Das Ziel bestand in erster Linie darin, durch die Verringerung der Geschwindigkeiten des Kraftfahrzeugverkehrs die Verkehrssicherheit zu erhöhen, Lärm- und Schadstoffbelastungen zu verringern und somit insgesamt eine Verbesserung der Aufenthaltsqualität, insbesondere für schwächere Verkehrsteilnehmer, zu erzielen.

Vorbild für eine an humanen und urbanen Leitbildern orientierte Verkehrsplanung wurde das „Delfter Modell“. Mit den so genannten Wohnhöfen erfolgte eine Umwandlung von Straßenräumen in vielfältig nutzbare Lebensräume, in denen das Kraftfahrzeug seine dominierende Stellung verlor und eine Anpassung der Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs an die der Fußgänger und Fahrradfahrer erforderlich wurde.

Oft ausgelöst durch Bürgerinitiativen und -proteste fand etwa Mitte der 1970er Jahre die Idee der Verkehrsberuhigung auch in Deutschland zunehmend Verbreitung. Es begann eine Experimentierphase, in der auch Umweltaspekte mehr und mehr im Mittelpunkt der Betrachtungen standen. Allerdings hatten zum damaligen Zeitpunkt verkehrsberuhigende Maßnahmen eher punktuellen verkehrstechnischen Charakter und konzentrierten sich in der Regel auf einzelne Straßen in Wohngebieten. Die Erfahrungen, die dabei gesammelt wurden, veranlassten dazu, Verkehrsberuhigungskonzepte vor allem im städtebaulichen und verkehrlichen Gesamtkontext weiterzuentwickeln.

So erfolgte im Jahre 1979 im Land Nordrhein-Westfalen ein Großversuch Verkehrsberuhigung mit der Anwendung von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen in einzelnen abgegrenzten Gebieten. Dabei konnten eine Verbesserung von Straßenbenutzbarkeit, Umwelt- und Umfeldqualität, vor allem jedoch eine Erhöhung der Verkehrssicherheit bei hinnehmbaren Einschränkungen für den Kraftfahrzeugverkehr nachgewiesen werden. Defizite vorangegangener Verkehrsberuhigungsmaßnah-

men, wie z. B. Verlagerung von Kfz-Verkehr und damit verbundene Probleme in angrenzenden Straßen, mangelnde Akzeptanz und fehlende Gestaltungsqualität, brachten die Erkenntnis, dass nachhaltige Verbesserungen nur bei flächenhafter Anwendung und einem systematischen, integrierten Ansatz auch unter Einbeziehung von Hauptverkehrsstraßen erzielt werden können. Für eine solche flächenhafte und integrierte Planung fehlten allerdings zum damaligen Zeitpunkt fundierte und auf unterschiedliche städtebauliche Situationen übertragbare Erkenntnisse.

Die Untersuchungen zur Problematik der Verkehrsberuhigung gipfeln Anfang der 90er Jahre in den Ergebnissen des Forschungsvorhabens „Flächenhafte Verkehrsberuhigung“ (BMBau, BMV, BMUNR, 1992). Im Rahmen dieser und weiterer europäischer Untersuchungen wurden die wesentlichsten Effekte baulicher, insbesondere jedoch verkehrsorganisatorischer Maßnahmen in Bezug auf Verkehrssicherheit, Lärm und Abgase nachgewiesen.

3.3 Verkehrsberuhigende Maßnahmen

Unter verkehrsberuhigenden Maßnahmen wurden bislang in der Stadt- und Verkehrsplanung allgemein die Maßnahmen der flächenhaften Verkehrsberuhigung in Tempo 30 oder verkehrsberuhigten Zonen, die außerhalb der Hauptverkehrsstraßen (Vorfahrtstraßen, Straßen mit ÖPNV etc.) bzw. der so genannten Vorbehaltsstraßen liegen, verstanden.

Direkte Beiträge zur Grenzwertüberschreitung aus den Verkehrsabläufen in verkehrsberuhigten Bereichen bzw. verkehrsberuhigten Geschäftsbereichen werden in kaum nennenswerter Höhe nachzuweisen sein. Der Anteil der Fahrleistungen in diesen Zonen dürfte unter 10 % in einer Beispielstadt liegen, obwohl diese Straßen einen Längensanteil von 70 bis 80 % an allen Straßen erreichen können.

Verkehrsberuhigte Bereiche führen gleichzeitig auch dazu, dass der Verkehr auf wenigen leistungsstarken Verkehrsstraßen gebündelt wird und hohe Verkehrsbelastungen im Hauptverkehrsstraßennetz die Folge sind. Vor allem aus Verkehrssicherheits- und Lärmschutzgründen sollen die verkehrsberuhigten Bereiche in einer Stadt maximiert werden und gleichzeitig der Hauptanteil

des Straßenverkehrs auf einem möglichst minimalen Hauptverkehrsstraßennetz gebündelt werden (Kanalisation oder Bündelung des Verkehrs). Dies führt zwangsläufig zu hohen Belastungen auf wenigen Straßen und dort in Kombination mit dichter Randbebauung u. a. zu den PM10-Grenzwertüberschreitungen. Eine Reduzierung der Kapazitäten in Abschnitten des Hauptverkehrsstraßennetzes kann leicht zu Verkehrsverlagerungen mit kontraproduktiven Effekten v. a. bzgl. Schadstoffen und Lärm führen und damit das Verschlechterungsgebot in anderen Bereichen verletzen. Aber auch innerhalb der Hauptverkehrsstraßennetze gibt es, unabhängig von der Luftreinhalteplanung andere Nutzungskonflikte, sodass bei der Straßenraumgestaltung neben den Anforderungen aus der Verbindungsfunktion (Sicherheit, Leichtigkeit und Flüssigkeit des Verkehrs) auch konkurrierende Anforderungen aus den Randnutzungen bzgl. Verkehrssicherheit, Aufenthaltsqualität, Liefern und Laden sowie Ruhender Verkehr zu befriedigen sind.

Um hier den Autoverkehr „verträglicher“ zu gestalten, werden „quasi verkehrsberuhigende Maßnahmen“ wie Querungsstellen, Mittelstreifen, engeres Fahrprofil, Geschwindigkeitsbegrenzung, grüne Welle bei reduzierter Geschwindigkeit, Einbauten etc. vorgesehen. Grundanliegen derartiger „quasi verkehrsberuhigender Maßnahmen“ (im Folgenden mit „verkehrsberuhigte“ Maßnahmen bezeichnet) ist eine Verstetigung des Verkehrsablaufs auf deutlich niedrigerem Geschwindigkeitsniveau. Jedoch wurde bereits im Rahmen der Forschungsvorhaben zur „Flächenhaften Verkehrsberuhigung“ festgestellt, dass die Erwartungen bezüglich der Verstetigung des Verkehrsablaufs und der Reduktion des Schadstoffausstoßes vielfach nicht in erwünschtem Maße eintreten und damit auch auf Hauptverkehrsstraßen nicht übertragbar sind. Dies zeigen auch aktuelle Beobachtungen. Derartige Maßnahmen – insbesondere wenn sie punktuell angelegt sind – können sogar einen Anstieg der Anzahl von Brems- und Beschleunigungsvorgängen zur Folge haben, was in solchen Fällen sogar zu einer Erhöhung der Emissionsbelastungen an Innerortsstraßen, insbesondere von PM10 aus motorbedingten und nichtmotorbedingten Emissionen (Abrieb von Reifen, Bremsen, Straßenbelag, Aufwirbelung etc.) führen könnte (LOHMEYER, 2004b).

3.4 Auswirkungen verkehrsberuhigender Maßnahmen

Auswirkungen von „Rechts-vor-links-Regelungen“

LÄTZSCH (1997) untersuchte das Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen in Dresdner Straßennetzen bei Vorfahrtregelungen „rechts vor links“. Dabei konnte der Nachweis erbracht werden, dass durch die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h in Straßennetzen mit „Rechts-vor-links-Regelung“ bis zu einem Knotenpunktabstand von 250 m kein höherer Kraftstoffverbrauch entsteht und die Schadstoffemissionen grundsätzlich niedriger sind als vor der Geschwindigkeitsbeschränkung. Die im Nebennetz gemessenen Reisegeschwindigkeiten lagen bei den vorgegebenen Fahrstrategien (30 und 50 km/h) deutlich über den im Straßenhauptnetz der Stadt Dresden gemessenen mittleren Reisegeschwindigkeiten von etwa 22 bis 24 km/h. Dies deutete darauf hin, dass überlastete Hauptnetzabschnitte durch das Nebennetz umfahren werden. Demzufolge sollte das Geschwindigkeitsniveau in Straßennetzen bei 30 km/h liegen, um die Netzfunktion aufrechterhalten zu können.

Auswirkungen unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten (Tempo 30, Tempo 40, Tempo 50)

Das Geschwindigkeitsverhalten bzw. die Geschwindigkeitswahl ist in erster Linie davon abhängig, wie der einzelne Fahrzeugführer die äußeren Verhaltensbedingungen, wie Straßen- und Fahrzeugmerkmale, Witterungs- und Beleuchtungsverhältnisse und Verkehrsregelungen, wahrnimmt. Untersuchungen des Kuratoriums für Verkehrssicherheit (2004) zeigen, dass ein großer Teil der Fahrzeugführer die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Innerortsbereich nicht einhält. Während die 85%-Geschwindigkeit in Tempo 30-Zonen im Zeitraum 2000 bis 2003 um einen Wert von ca. 45 km/h schwankte und in Tempo 40-Gebieten bei 50 km/h bzw. deutlich darüber lag, blieb sie bei Tempo 50-Gebieten relativ konstant bei 60 km/h (Bild 3.1).

Es ist zu erkennen, dass der Anteil der Überschreitenden des jeweiligen Tempolimits im Ortsgebiet mit zunehmender zulässiger Höchstgeschwindigkeit abnimmt. Während die Überschreitungshäufigkeit bei Tempo 30 und 40 mit 63 bis 83 % eine große Bandbreite aufweist, wird das Tempolimit von

50 km/h von 53 bis 60 % der Fahrzeugführer überschritten (Bild 3.2).

Untersuchungsergebnisse des BMV (1991) aus dem Modellvorhaben „Flächenhafte Verkehrsberuhigung“ in Deutschland zeigen, dass mit baulichen Maßnahmen in Tempo 30-Zonen gemittelte Geschwindigkeitsniveaus (V_{85}) von 37 km/h bis 40 km/h zu erreichen sind.

Bei einer genaueren Untersuchung der verschiedenen Straßenfunktionstypen konnten im Durchschnitt in typischen Fällen durch Tempo 30-Beschränkungen folgende Geschwindigkeitsreduktionen erreicht werden (SCHICK, 1998):

Anliegerstraßen: Rückgänge um 5 bis 15 km/h auf ein mittleres Geschwindigkeitsniveau (V_m) von 25 bis 35 km/h,

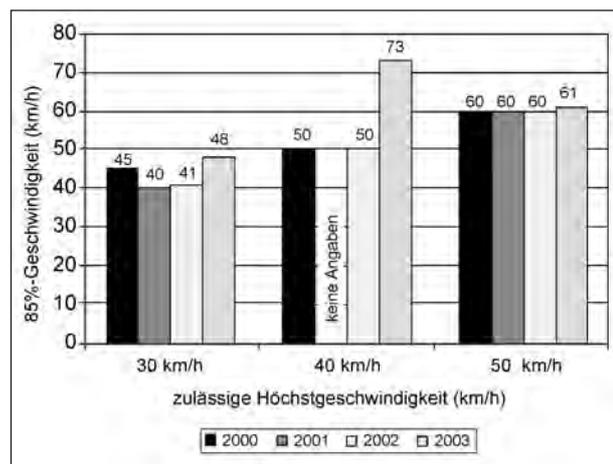


Bild 3.1: Akzeptanz, gemessen an der 85%-Geschwindigkeit (V_{85}). Quelle: Kuratorium für Verkehrssicherheit (2004)

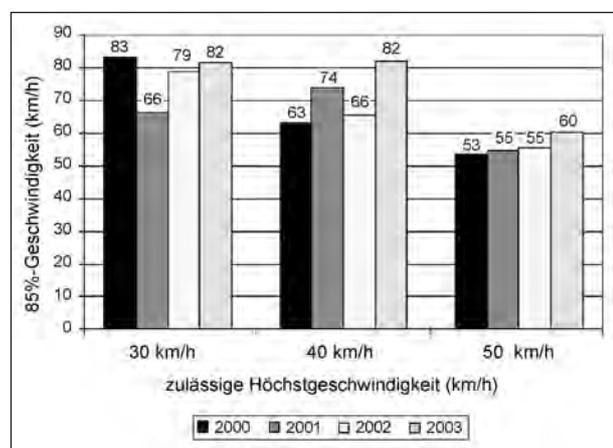


Bild 3.2: Überschreitungshäufigkeit bei unterschiedlichen Tempolimits im Ortsgebiet. Quelle: Kuratorium für Verkehrssicherheit (2004)

Sammelstraßen: Rückgänge um 5 bis 10 km/h auf ein mittleres Geschwindigkeitsniveau (V_m) von 35 bis 45 km/h,

Hauptstraßen: Rückgänge um 2 bis 5 km/h auf ein mittleres Geschwindigkeitsniveau (V_m) um 50 km/h.

In einer Untersuchung des ADAC (1995) wurde festgestellt, dass sich der Geschwindigkeitsverlauf, das heißt die Geschwindigkeitsänderung während der Fahrt durch eine Tempo 30-Zone, verstetigt. Der Erfolg einer Verstetigung des Verkehrsablaufes hängt wesentlich von der Anzahl, Platzierung und Ausführung der einzelnen geschwindigkeitsdämpfenden Maßnahmen ab (Bild 3.3).

Vorher-Nachher-Untersuchungen der BASt (1990) im Rahmen eines Tempo 40-Versuches in Baden-Württemberg ergaben Geschwindigkeitsreduktionen

- um ca. 1 km/h auf ca. 41 km/h bei V_m und
- um 3 km/h auf ca. 49 km/h bei V_{85} .

Die Überschreitungshäufigkeit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit stieg in diesen Gebieten von vorher 19 % bei Tempo 50 auf nachher 52 % bei Tempo 40 an.

Im Gegensatz zu SCHICK (1998) konnten gebiets-typische und straßenraumspezifische Einflüsse auf die gefahrenen Geschwindigkeiten in diesem Zusammenhang nicht festgestellt werden.

Der Verkehrsablauf im innerstädtischen Raum ist dadurch gekennzeichnet, dass relativ häufig von höheren Fahrgeschwindigkeiten, die in der Regel durch die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten beeinflusst werden, auf niedrigere Geschwindigkeiten bzw. bis zum Stand verzögert werden und danach wieder auf die Ausgangsgeschwindigkeit beschleunigt werden kann/muss. Die Ursachen für solche Unstetigkeiten im Verkehrsfluss liegen einerseits in der Verkehrsanlage selbst bzw. in der jeweiligen

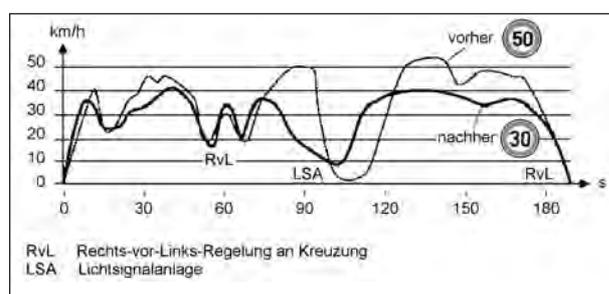


Bild 3.3: Typischer Fahrzyklus (vorher-nachher) in einer Wohnstraße. Quelle: ADAC (1995)

Situation (z. B. Knotenpunkte, Lichtsignalanlagen, Fußgängerüberwege, Funktion der Straßenabschnitte) und andererseits in den die Verkehrsabläufe bestimmenden inneren Gesetzmäßigkeiten, wobei die jeweils vorhandene Verkehrsbelastung und -mischung den entscheidenden Einfluss ausüben.

Wie in UBA (2007) dargestellt, untersuchten die Autoren (HUNGER et. al.) in einer Vorher-/Nachher-Untersuchung in Rostock die Auswirkungen der Installation eines Displays zur Anzeige der Momentangeschwindigkeit auf einer Hauptstraße mit Tempo 30. Dabei wurde festgestellt, dass die Wirkung der Anlage gering, aber messbar war. Im Bereich 100 Meter vor der Anlage wurde eine Geschwindigkeitsreduktion um ca. 5 km/h gemessen, allerdings blieb auch mit der (sanktionsfreien) Anlage das Überschreitungsniveau extrem hoch (90 %).

Nach WALDEER (1999) wird das Fahrverhalten im Wesentlichen durch

- interne Faktoren wie Fahrerwunschgeschwindigkeit, Reaktionsvermögen, technische Vorgaben des Fahrzeugs,
- externe Faktoren wie Geschwindigkeitsbeschränkungen, Kreuzungen, Zu- und Abführungen, Baustellen u. a.,
- kollektive Faktoren wie aktuelle Verkehrsdichte und -stärke, mittlere Geschwindigkeiten, Spurwechselverhalten u. a.

beeinflusst.

Daraus resultieren dann die jeweils aktuellen kinematischen Fahrzeuggrößen wie Geschwindigkeit, Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und Beschleunigungsverhalten. Die Änderungen dieser kinematischen Größen werden aufgrund von Interaktionen und auf Erfahrungen basierenden Einschätzungen ausgeführt. Aus dem Verhalten der einzelnen interagierenden Fahrzeuge ergibt sich dann der Gesamtverkehrsablauf, der sowohl mikroskopisch als auch makroskopisch analysiert und beschrieben werden kann.

Die im Verkehrsablauf auftretende Anzahl von Beschleunigungen und Verzögerungen pro Zeiteinheit (Beschleunigungsrauschen) übt unter anderem einen direkten Einfluss auf Schadstoffemissionen sowie Fahrbahn- und Fahrzeugverschleiß aus. So geht ein steigendes Beschleunigungsrauschen mit einer Erhöhung der Lärm- und Abgasemissionen, einem höheren Kraftstoffverbrauch und einem zu-

nehmenden Verschleiß von Fahrzeug und Fahrbahn sowie mit einer Reduzierung der Verkehrssicherheit einher (UBA, 2007).

Nach TIEFENTHALER (2005) ist die Geschwindigkeit nur ein indirekter Einflussparameter auf die Emissionsmenge der Luftschadstoffe. Entscheidend ist die Motorlast, das heißt die momentane Leistung, die das Fahrzeug gerade erbringen muss. In den aktuellen Berechnungsmodellen, wie dem Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (UBA, 2004) und dem Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung (FGSV, 2004), sind die spezifischen Emissionen deshalb nicht als Funktion der Geschwindigkeit, sondern in Abhängigkeit von Straßentyp, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Verkehrssituation angegeben. Dabei liegen der Berechnung jeweils straßentyp- und verkehrssituationspezifische Fahrmuster zugrunde. Somit wird davon ausgegangen, dass die Emissionen nicht nur von der angegebenen mittleren Geschwindigkeit abhängig sind, sondern auch von der Dynamik des Geschwindigkeitsverlaufes.

Geschwindigkeitsreduktionen führen prinzipiell zu einer leichten Verringerung der Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxide (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) sind dagegen stärker vom Fahrverlauf als von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig. Die Anzahl, Länge und Stärke der Beschleunigungs- und Bremsphasen spielen dabei eine wesentliche Rolle (BMBau, BMV, BMUNR, 1992).

Dies bedeutet, dass das Ziel einer Verkehrsberuhigung nicht nur die Geschwindigkeitsreduktion sein sollte, sondern gleichermaßen eine Verstetigung des Fahrtverlaufes über längere Strecken beinhalten muss. Bei verkehrsberuhigenden Maßnahmen sollte daher die Reduzierung der Beschleunigungsanteile im Vordergrund stehen, das heißt z. B. ein Absenken der Spitzengeschwindigkeiten, um die Längen der Beschleunigungsphasen zu reduzieren.

Auswirkungen von Tempo 30 (40) auf Hauptverkehrsstraßen

Die zunehmende Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungsansprüche des Straßenraumes macht es vielfach notwendig, die Ansprüche des MIV hinsichtlich Geschwindigkeit und Zügigkeit herabzusetzen und den Fußgänger- und Fahrradverkehr sowie den ÖPNV zu fördern.

Im Sinne positiver Umweltwirkungen und der jeweils vorhandenen Nutzungsempfindlichkeiten sollte laut MAZUR (1998) auch auf stark belegten Straßen eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h vorgenommen, die Vorfahrtsregelung jedoch aus Gründen der Verstetigung des Verkehrsablaufes beibehalten werden.

TOPP (1992) stellte im Rahmen eines Modellvorhabens über stadtverträgliche Kfz-Geschwindigkeiten in Kaiserslautern fest, dass Hauptverkehrsstraßen sogar in Tempo 30-Zonen integriert werden können, da negative Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und den Verkehrsablauf nicht festzustellen sind. Die Begründung der Zonengeschwindigkeitsverordnung geht von dem Gedanken aus, dass es Kraftfahrern nur über kurze Distanzen zuzumuten ist, langsamer als 50 km/h zu fahren. Im Modellvorhaben zeigte sich jedoch, im Gegensatz zu SCHICK (1998), dass Tempo 30 gerade auf Straßen mit einer gewissen Verkehrsbedeutung besonders wirkungsvoll ist und die Verkehrsfunktion einer Straße durch die Einführung von Tempo 30 kaum beeinträchtigt wird.

Im Ergebnis des UBA-Projektes „Verbesserung der Umweltqualität in Kommunen durch geschwindigkeitsbeeinflussende Maßnahmen auf Hauptverkehrsstraßen“ kommen die Autoren zu der Haupterkenntnis, dass Maßnahmen, die Geschwindigkeiten im Hauptstraßennetz zwischen 30 und 50 km/h bei einem konstanten Verkehrsablauf zur Folge haben, unter dem Aspekt des erweiterten Begriffs der Umweltwirkungen am stadtökologisch günstigsten sind (UBA, 2007).

RETZKO und KORDA (2000) stellten fest, dass die mittleren Geschwindigkeiten in den Tempo 30- und Tempo 40-Hauptverkehrsstraßen zum Teil stärker zurückgehen, als dies in vielen Tempo 30-Zonen der Fall ist. Sie finden, dass die Standardabweichung der Geschwindigkeiten bei Tempo 30 und Tempo 40 geringer ist als bei Tempo 50.

3.5 Verkehrliche Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub

Zur Feinstaubbelastung tragen Emissionen aus verschiedenen Sektoren wie z. B. Haushalt, Verkehr, Industrie und Gewerbe bei. Neben lokalen Quellen führen auch regionale und überregionale Schadstofftransporte zu dieser Belastung, wobei die Verursacheranteile in ihrer Verteilung sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können.

Die höchsten Konzentrationen treten neben industriellen Standorten sehr häufig in der Nähe von verkehrsreichen Straßen auf. Angesichts dieser Tatsache wird der Schwerpunkt der Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität sowohl in Deutschland als auch in den anderen europäischen Ländern auf den Straßenverkehr gelegt (IFEU, 2005).

Luftreinhalte- und Aktionspläne der Kommunen

Mit der EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie und deren Tochterrichtlinien sowie deren Umsetzung in deutsches Recht durch die 22. BImSchV (2007) werden Luftqualitätsziele zur Vermeidung bzw. Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt in allen Mitgliedsstaaten der EU festgelegt. Bei Grenzwertüberschreitungen sind die Kommunen angehalten, Maßnahmen aus eigens dafür konzipierten Luftreinhalteplänen bzw. Aktionsplänen umzusetzen.

Luftreinhaltepläne sind für die Luftschadstoffe zu erstellen, bei denen die gemessenen Tages- bzw. Jahresmittelwerte über den vorgegebenen Grenzwerten liegen.

Luftreinhaltepläne beschreiben in der Regel langfristige, verursacherbezogene Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserung der Luftqualität in Gebieten, in denen Grenzwerte überschritten werden. Durch die in den Plänen festgelegten Maßnahmen ist sicherzustellen, dass nach Ablauf der in den Tochterrichtlinien genannten Fristen die vorgegebenen Grenzwerte sicher eingehalten werden.

Aktionspläne sind für die Luftschadstoffe zu erstellen, bei denen die gemessenen 1-Stundenmittelwerte oder Tagesmittelwerte trotz bereits umgesetzter Maßnahmen von Luftreinhalteplänen noch über den vorgegebenen Grenzwerten liegen bzw. liegen können, das heißt, Aktionspläne sind erst dann erforderlich, wenn die Grenzwerte nach Fristablauf verbindlich sind. Sie beschreiben kurzfristig zu ergreifende, temporäre Maßnahmen, wie z. B. Produktionseinschränkungen, verkehrslenkende Maßnahmen, Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Fahrverbote. Mit ihnen sollen Grenzwertüberschreitungen vermieden bzw. die Überschreitungsdauer reduziert werden. Aktionspläne können regional begrenzt, auf innerstädtische Hauptverkehrsstraßen bezogen oder landesweit erstellt werden.

In den aktuellen Luftreinhalte- und Aktionsplänen werden zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung

der Luftqualität aufgeführt. Eine erste eingehende Analyse aktueller Pläne deutscher Städte ergab, dass quantifizierte Aussagen über die Effekte dieser Maßnahmen nur in seltenen Fällen getroffen werden bzw. getroffen werden können, obgleich eine Quantifizierung der Wirkungen für die Bewertung der Maßnahmen von wesentlicher Bedeutung ist.

Datenbank zur Maßnahmenbewertung

Eine Analyse der im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt, 2006) erstellten Datenbank zur Bewertung von Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft und deren schadstoffmindernder Wirkung (MARLIS) ergab, dass diese Datenbank zwar eine systematische Erfassung und Beschreibung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung an Verkehrswegen und deren Auswirkung auf die Luftschadstoffkonzentrationen in ausgewählten Gebieten darstellt. Eine ausführliche Beschreibung oder gar eine Bewertung der Auswirkungen der angeführten Maßnahmen kann jedoch aufgrund fehlender Erfahrungen und nur weniger maßnahmenbegleitender Untersuchungen bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht ausgewiesen werden.

3.6 Einfluss Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Emission

LOHMEYER (2003) fand bei der Auswertung und Systematisierung von vorhandenen Messdaten, dass in der Stresemannstraße in Hamburg mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h die PM₁₀-Emissionsfaktoren deutlich niedriger lagen als die an allen anderen Straßen ermittelten Werte und auch niedriger waren als die mit dem modifizierten EPA-Modell errechneten Werte. Allerdings konnten dort die Auspuffemissionen nur mit großen Unsicherheiten bestimmt werden, sodass die Aussage nur als Hinweis für weitere Untersuchungen diente.

SCHULZE (2002) wertete zeitlich hoch aufgelöste Daten der Senatsverwaltung Berlin in der Frankfurter Allee (DTV ca. 60 000 Kfz/d bei 5 % Lkw-Anteil) aus. Beim Vergleich zwischen den Stundenmittelwerten der PM₁₀-Emissionsfaktoren und den Fahrzeuggeschwindigkeiten auf den inneren Fahrstreifen, die nicht zeitweilig zum Parken genutzt werden, fand sie eine positive Korrelation (das heißt höhere Fahrzeuggeschwindigkeit, höhere Emissionsfaktoren), allerdings mit geringer Signifikanz

(siehe Bild 3.4). Die PM10-Emissionsfaktoren unterscheiden sich zwischen den Geschwindigkeitsniveaus 60 km/h und 40 km/h im Mittel zwischen 25 und 50 %.

In Berlin wurde in der Beusselstraße (DTV ca. 25 000 Kfz/d mit 5 % Lkw-Anteil) im Rahmen des EU-Projektes HEAVEN Anfang 2003 ein Verkehrsversuch durchgeführt, bei dem zunächst die Auswirkungen einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf 30 km/h, unterstützt durch Geschwindigkeitskontrollen durch die Polizei, untersucht wurden. Das Geschwindigkeitsniveau sank dabei um 10 km/h. Die aus den gemessenen Konzentrationsdaten abgeleiteten Luftschadstoffemissionen sanken dabei bei PM10 um ca. 2 %, bei NO_x um ca. 3 % (LUTZ und TULLIUS, 2003).

FITZ (2001) ermittelte PM10-Emissionsfaktoren an befestigten Straßen in Kalifornien (USA) mittels eines mobilen Messfahrzeuges, an dem die Konzentrationsdifferenzen zwischen der Front und dem Heck des Fahrzeuges ausgewertet werden. PM10-Emissionsmessungen wurden für eine Vielzahl von Straßen durchgeführt und nach Straßenkategorien klassifiziert.

Die ermittelten PM10-Emissionsfaktoren wurden wie folgt angegeben:

- Local Road (2 Fahrstreifen, weniger als 500 Fzg/d, 35 mph Geschwindigkeit): 68 mg/km,
- Collector R. (2 Fahrstreifen, 500 bis 10 000 Fzg/d, 45 mph Geschwindigkeit): 64 mg/km,
- Arterial R. (> 2 Fahrstreifen, 10 bis 150 000 Fzg/d, 50-55 mph): 129 mg/km,
- Freeway (> 3 Fahrstreifen, ca. 150 000 Fzg/d, 50-55 mph): 82 mg/km.

Die angegebenen mittleren Emissionsfaktoren variieren somit etwa um den Faktor 2. Tendenziell höhere Emissionsfaktoren wurden auf den Straßen mit Fahrzeuggeschwindigkeiten größer 50 mph ermittelt. Eine eindeutige Geschwindigkeitsabhängigkeit der Emissionsfaktoren von der Fahrzeuggeschwindigkeit konnte aus diesen Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Der mögliche Einfluss des Verkehrsflusses auf die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten und Emissionsfaktoren wurde von den Autoren nicht diskutiert.

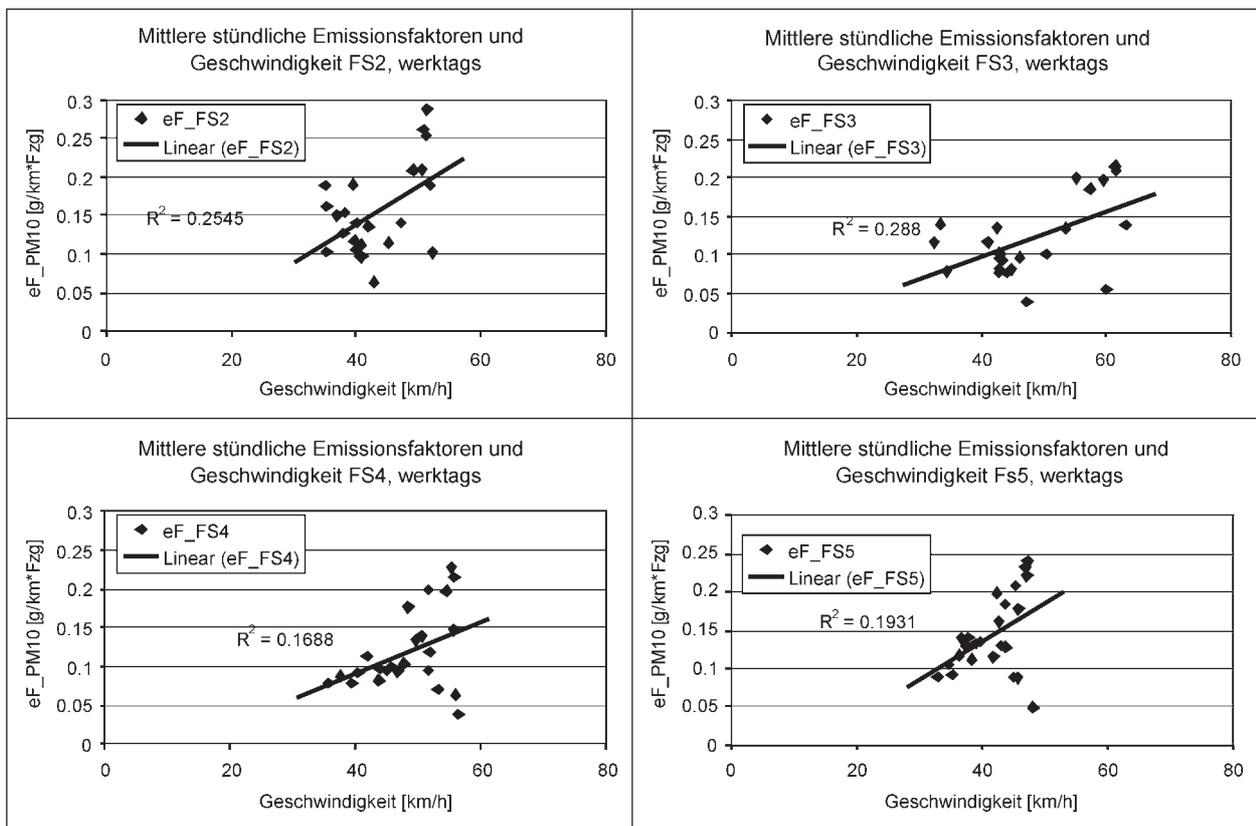


Bild 3.4: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren von der Fahrzeuggeschwindigkeit auf den Fahrstreifen (FS) 2 bis 5 in der Frankfurter Allee. Datenbasis: Stundenmittelwerte werktags im Zeitraum 26.07.1999 bis 19.10.1999. Quelle: SCHULZE (2002)

ETYEMEZIAN et al. (2003) setzten das mobile Messfahrzeug TRAKER (Funktionsweise ähnlich dem o. g. Messfahrzeug von FITZ) ein, um das Straßennetz für Treasure Valley (USA) in Hinblick auf PM10-Emissionsfaktoren und Emissionspotenziale zu systematisieren. Sie fanden heraus, dass die Emissionsfaktoren für befestigte Straßen mit hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten (ca. 90 km/h) etwa 20 bis 70 % niedriger waren als bei Straßen mit niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten (ca. 40 km/h). Das Emissionspotenzial (das heißt die Menge von PM10-Partikel auf der Straße, die zur Wiederaufwirbelung bereitstehen) ist auf Straßen mit niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten relevant höher als auf Schnellstraßen. Funktionelle Abhängigkeiten wurden nicht angegeben. Der mögliche Einfluss des Verkehrsflusses auf die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten und Emissionsfaktoren wurde auch von diesen Autoren nicht diskutiert.

Das empirische VLUF-Modell aus Norwegen (SMHI, 2002; GUSTAFSSON, 2001) verwendet zur Berücksichtigung der Fahrzeuggeschwindigkeit für den Partikelanteil PM2.5 bis PM10, also die groben im Wesentlichen nicht auspuffbedingten Partikel, einen Term $(v/v_{ref})^2$. Setzt man als Referenzgeschwindigkeit $v_{ref} = 50$ km/h (wie bei der Ableitung der Emissionsfaktoren) ein, so ergäbe dies eine Reduktion des nichtauspuffbedingten PM10-Emissionsfaktors z. B. für Tempo 30 um ca. 70 %, für Tempo 40 um ca. 50 %.

Das schwedische PM10-Emissionsmodell (BRINGFIELT et al., 1997; siehe auch LOHMEYER, 2001) gibt geschwindigkeitsdifferenzierte Basisemissionsfaktoren für PM10-Aufwirbelung und Abrieb an. Für das Geschwindigkeitsintervall 32 bis 41 km/h wird ein Basisemissionsfaktor von 0.75 g/(km · Pkw) bzw. 3.95 g/(km · Lkw) angegeben. Im Geschwindigkeitsintervall von etwa 50 bis 60 km/h gibt das gleiche Modell Basisemissionsfaktoren von 2.29 g/(km · Pkw) bzw. 4.68 g/(km · Lkw) aus. Auch wenn LOHMEYER (2001) zeigte, dass die Absolutwerte dieses Modells für eine praktikable Anwendung für deutsche Verhältnisse eher nicht geeignet sind, so ist doch das dort angegebene relative Verhältnis der Emissionsfaktoren zwischen Tempo 50 und Tempo 30 interessant. Es liegt für Pkw bei einem Faktor ca. 3 und für Lkw bei ca. 1.2. Bei den innerorts typischen Lkw-Anteilen (2 bis 10 %) würde daraus eine Minderung der nicht motorbedingten PM10-Emissionen im Flottenmittel um ca. 70 % resultieren. Dies korrespondiert gut mit dem im VLUF-Modell verwendeten Ansatz.

LOHMEYER (2004a) konnte keine signifikante und statistisch gesicherte Abhängigkeit der nicht auspuffbedingten PM10-Emissionsfaktoren von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für Autobahnen und Außerortsstraßen ableiten, weil die dort vorgelegenen Daten dazu nicht ausreichten. Auch für Innerortsstraßen lagen keine Messdaten an Straßen mit Tempo 30-Signalisierung vor. Die dort abgeleiteten Emissionsfaktoren wurden für die Innerortsbereiche deshalb anhand von Messdaten an Straßen mit Tempolimit 50 km/h abgeleitet. Eine Geschwindigkeitsabhängigkeit konnte aufgrund fehlender Validierungsdaten sowie Modellansätze in die bei LOHMEYER (2004b) abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren nicht integriert werden. Dafür zeichnete sich eine starke Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren von den Verkehrssituationen ab, das heißt, die Häufigkeit von Brems- und Beschleunigungsvorgängen schien als Einflussgröße wichtiger zu sein als die mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Unterschiede werden in diesem, derzeit allgemein verwendeten PM10-Emissionsmodell mit einem Faktor bis zu drei quantifiziert (siehe als Beispiel Bild 3.5, dort z. B. LSA3 für Hauptverkehrsstraße mit LSA starke Störungen im Vergleich zu HVS2, Hauptverkehrsstraße mittlere Störungen). Allerdings sind aufgrund der derzeitigen Datenlage diese Einflüsse recht unsicher (LOHMEYER, 2004b), auch deshalb, weil für die bisher ausgewerteten Messstrecken keine messtechnische Bestimmung, sondern für die Innerortsbereiche eine auf einer qualitativen Einschätzung und der Erfahrung der Bearbeiter beruhende Bestimmung der Verkehrssituationen vorlag.

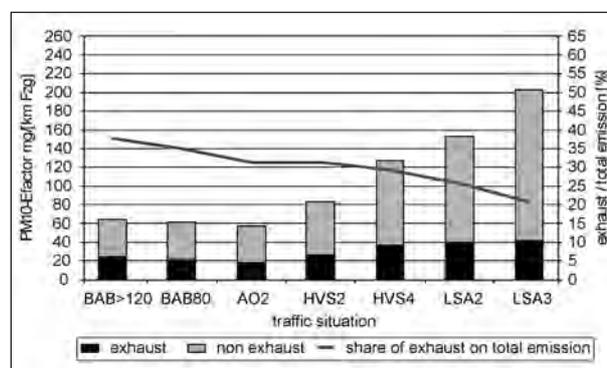


Bild 3.5: PM10-Emissionsfaktoren (Motor = schwarz; Aufwirbelung und Abrieb = hellgrau) in Abhängigkeit von der Verkehrssituation im Bezugsjahr 2007 und 10 % Lkw-Anteil. Die schwarze Linie kennzeichnet den Anteil der motorbedingten PM10-Emissionen an der PM10-Gesamtemission. Der Verkehrsfluss nimmt von links nach rechts ab. Quelle: LOHMEYER (2004b)

Deutlich wird allerdings die auf Autobahnen gegenüber innerörtlichen Verkehrssituationen trotz der wesentlich höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten deutlich reduzierte fahrzeugspezifische PM10-Emission. Ursachen könnten neben den erwähnten Unterschieden im Verkehrsfluss auch in den lokalen Gegebenheiten (im städtischen Bereich insbesondere in dicht bebauten Straßenschluchten, können die durch Abriebsprozesse mechanisch erzeugten Partikel wegen der verminderten Möglichkeit des Wegtransports wieder auf der Straße abgelagert und akkumuliert werden und können somit zu einem höheren Anteil von wiederaufwirbelbaren Partikeln beitragen) liegen.

Der Einfluss des Verkehrsflusses auf die Emissionen war auch Ziel einer Untersuchung von DAVID et al. (2005). Beim Vergleich zwischen den Abgasemissionen bei Grüner Welle relativ zu schlecht koordinierten LSA wurden dabei eine Senkung der NO_x-Emissionen um ca. 50 % und die von Partikeln um ca. 25 % unter realen Bedingungen gemessen.

SÄHN et al. (2006) schlussfolgerten aus der statistischen Analyse komplexer Messdatensätze von PM10- und NO_x-Konzentrationen, Meteorologie und Verkehrsmengen, dass kein signifikanter Hinweis auf Auswirkungen der Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM10-Konzentrationen gefunden werden konnte.

GUSTAFSSON (2005) berichtete über die Auswertung von Abriebsversuchen an einem Prüfstand (Rundlauf). Gemessen wurden PM10-Massenkonzentrationen und PM10-Größenverteilungen. Hierbei variierte er sowohl das Material der „Fahrbahn“-Oberfläche (dichter Asphalt mit Granit sowie Split-Mastixasphalt mit Quarzit) als auch die Reifen (Spikereifen sowie Winterreifen) und die „Fahr“-Geschwindigkeiten (0 bis 70 km/h). Es wurde festgestellt, dass höhere Geschwindigkeiten höhere PM10-Konzentrationen und einen höheren Anteil an PM2.5 bedingen.

Auch KUPIAINEN et al. (2005) analysierten Partikel an einem Prüfstand. U. a. wurden massebezogene PM10-Größenverteilungen bei 15 und 30 km/h für Winterreifen und Spikereifen bestimmt. Sie stellten fest, dass die PM10-Emissionen vom Reifentyp und von der Fahrgeschwindigkeit abhängen. Hier konnte eine Zunahme der PM10-Konzentrationen von ca. 40 % bei zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit (von 15 km/h auf 30 km/h) beobachtet werden. Die relative Größenverteilung der Partikel war bei beiden Geschwindigkeiten ähnlich.

In EMEP/CORINAIR sind Emissionsfaktoren für Reifenabrieb- und Bremsabrieb angegeben (CORINAIR, 2006). Die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Reifenabriebs wird darin folgendermaßen behandelt:

$$EF_{\text{Reifen}} [\text{mg}/(\text{Fzg} \cdot \text{km})] = f_{\text{Reifen}} \cdot EF_{\text{TSPReifen}} \cdot S_{\text{Reifen}}(v)$$

$$f_{\text{Reifen}} = \text{Anteil der Partikelfraktion an TSP}$$

$$EF_{\text{TSPReifen}} = \text{TSP-Emissionsfaktor Reifenabrieb bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h}$$

$$S_{\text{Reifen}}(v) = \text{Geschwindigkeitskorrekturfaktor, welcher von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt}$$

mit

$$v < 40 \text{ km/h: } S_{\text{Reifen}}(v) = 1.39$$

$$40 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h:}$$

$$S_{\text{Reifen}}(v) = -0.00974 \cdot v + 1.78$$

$$v > 90 \text{ km/h:}$$

$$S_{\text{Reifen}}(v) = 0.902$$

Bild 3.6 zeigt diese funktionale Abhängigkeit. Sie wird für alle Fahrzeugkategorien angesetzt. Es ist festzustellen, dass bei niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten, wie sie z. B. im Stadtverkehr gefahren werden, höhere Reifenabriebsemissionen angesetzt werden als bei höheren (z. B. bei Tempo 30 ca. 36 % mehr als bei Tempo 80 bzw. 7 % mehr als bei Tempo 50). Dies scheint auf den ersten Blick nicht ganz plausibel. Die Autoren weisen allerdings darauf hin, dass hier nicht reine Geschwindigkeitsabhängigkeiten im Sinne von Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit als Basis verwendet wurden, sondern die Bedingungen bei verschiedenen Verkehrszuständen. So wird im städtischen Verkehr, mit den durchschnittlich niedrigeren Fahrzeuggeschwindigkeiten, z. B. häufiger gebremst als auf Au-

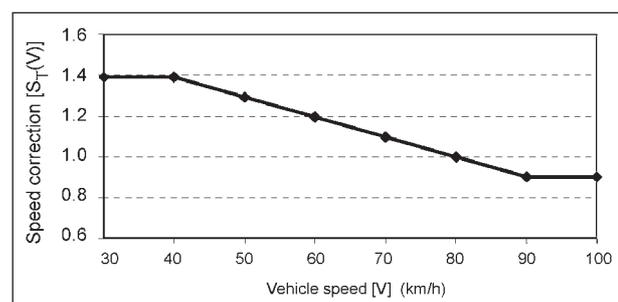


Bild 3.6: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge Reifenabriebs von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für alle Fahrzeugklassen. Quelle: CORINAIR, 2006

tobahnen. Diese Geschwindigkeitsabhängigkeit gibt somit im Prinzip die in Bild 3.5 aufgezeigten Verhältnisse des Einflusses des Verkehrsflusses wieder.

Die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Bremsabriebes wird folgendermaßen behandelt:

$$EF_{\text{Brems}} [\text{mg}/(\text{Fzg} \cdot \text{km})] = f_{\text{Brems}} EF_{\text{TSPBrems}} S_{\text{Brems}}(v),$$

f_{Brems} = Anteil der Partikelfraktion an TSP

EF_{TSPBrems} = TSP-Emissionsfaktor Bremsabrieb bei einer Geschwindigkeit von 65 km/h

$S_{\text{Brems}}(v)$ = Geschwindigkeitskorrekturfaktor, welcher von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt

mit

$$v < 40 \text{ km/h: } S_{\text{Brems}}(v) = 1.67$$

$$40 \text{ km/h} \leq v \leq 95 \text{ km/h: } S_{\text{Brems}}(v) = -0.027 \cdot v + 2.75$$

$$v > 90 \text{ km/h: } S_{\text{Brems}}(v) = 0.185.$$

Bild 3.7 zeigt diese Funktion. Sie ist auf Fahrzeuggeschwindigkeiten von 65 km/h normiert. Der Abfall der Funktion ist deutlich steiler als beim Reifenabrieb, weil nach Ansicht der Autoren der Bremsabrieb auf Autobahnen vernachlässigbar ist. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass eine reine Kopplung an die Fahrzeuggeschwindigkeit u. E. nicht sinnvoll ist, da, wie bereits beim Reifenabrieb erläutert, der Verkehrszustand (also das Verhältnis von Beschleunigungen zu Konstantfahrten) wichtiger für die Abriebemissionen sein sollte als die Fahrzeuggeschwindigkeit. Zur Bewertung des Einflusses eines signalisierten Tempolimits von 50 km/h auf z. B. 30 km/h auf die PM10-Belastun-

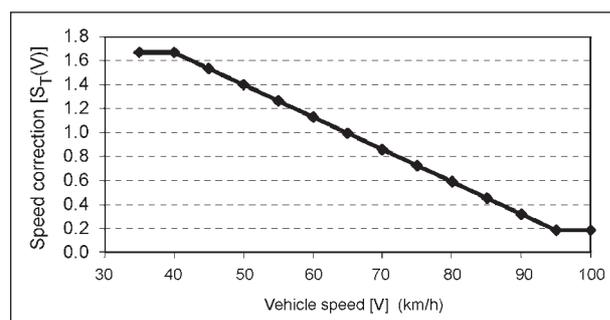


Bild 3.7: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge Bremsabriebs von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für alle Fahrzeugklassen. Quelle: CORINAIR, 2006

gen können diese Funktionen deshalb nicht verwendet werden.

Für den Straßenabrieb lagen nach Angaben der Autoren nur sehr wenig Informationen in der Literatur vor. Deshalb konnte keine Abhängigkeit dieser Emissionen von der Fahrzeuggeschwindigkeit berücksichtigt werden.

In einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (LOHMEYER, 2008) wurde der Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit bzw. des Verkehrsflusses auf die PM10-Belastung an innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen analysiert.

Der Einfluss eines Tempolimits auf die PM_x-Belastungen konnte dabei im Feldversuch an der Schildhornstraße in Berlin für den Zeitraum 01.01.2004 bis 21.03.2005 (Tempo 50) bzw. 01.11.2005 bis 21.03.2006 (Tempo 30) untersucht werden. Dort wurde eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h auf 30 km/h mit gleichzeitiger Radarüberwachung eingerichtet. Meteorologische Einflüsse, Einflüsse variierender Hintergrundbelastungen sowie Verkehrsstärken und Fahrzeugflottenzusammensetzungen auf die beobachteten Konzentrationsänderungen vor und nach der Fahrbahnsanierung wurden in der Auswertung berücksichtigt. Aus den Datenauswertungen zur Schildhornstraße in Berlin konnte Folgendes abgeleitet werden:

Die messtechnisch beobachtete Zunahme der PM10-Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor der T30-Signalisierung und nach der T30-Signalisierung von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. Zunahme der PM10-Zusatzbelastung von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ resultierte auch aus

$7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Erhöhung der Hintergrundbelastung,

$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Erhöhung durch unterschiedliche Windbedingungen,

$0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ das heißt keine Veränderung der ZB durch Veränderung der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie veränderte fahrzeugspezifische Emissionen (ohne Einfluss der T30-Signalisierung).

Dadurch ergab sich für den o. g. Auswertzeitraum eine Reduktion an Werktagen durch den Übergang von einer T50-Signalisierung zu einer T30-Signalisierung mit Radarüberwachung bei weiterhin gleichmäßigem Verkehrsfluss von ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ca. 15 bis 27 % der PM10-Zusatzbelastung). Für Ruß

und NO_x ergaben sich in diesem Auswertzeitraum keine relevanten Abnahmen.

Eine Auswertung der Messdaten in der Schildhornstraße durch die Senatsverwaltung Berlin (RAUTERBERG-WULFF, 2009) zeigte für einen deutlich längeren Zeitraum als den o. g. Minderungen der PM_{10} -Zusatzbelastung von 30 %. Für Ruß- und NO_2 -Zusatzbelastungen ergaben sich 19 % bzw. 37 % Reduktion.

Der Einfluss eines normgerechten Ausbaus einer innerstädtischen Bundesstraße mit Einrichtung einer „Grünen Welle“ auf die PM_x -Belastungen konnte im Feldversuch an der Bergstraße in Dresden untersucht werden. Hierbei konnte Folgendes festgestellt werden:

Der Verkehrsfluss hat sich nach dem Ausbau in beiden Richtungen deutlich verbessert. Stadtauswärts waren vor dem Ausbau ein mäßiger Verkehrsfluss (Verkehrssituation nach HBEFa = LSA2), stadteinwärts ein schlechter Verkehrsfluss (Kern) zu verzeichnen gewesen. Nach dem Ausbau funktioniert stadtauswärts die Grüne Welle (HVS2), stadteinwärts gibt es Haltezeiten an den Lichtsignalanlagen, die den Verkehrsfluss im Allgemeinen gering beeinträchtigen (HVS 2, LSA 2), nur am Knoten Förster-Platz stark beeinträchtigen (HVS4).

Die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten lagen im Bereich der Messstelle vor dem Ausbau bei ca. 30 km/h und nach dem Ausbau bei über 40 km/h. Das bedeutet aber nicht, dass im Zustand vor dem Ausbau konstant mit 30 km/h gefahren wurde. Wie die Perzentile (Q75, Q90) der Fahrzeuggeschwindigkeiten zeigen, fuhren die Fahrzeuge, falls sie nicht durch die LSA im Verkehrsfluss behindert wurden, vor dem Ausbau im Mittel Geschwindigkeiten um ca. 40 bis 45 km/h, nach dem Ausbau ca. 45 bis 50 km/h.

Die messtechnisch beobachtete Abnahme der PM_{10} -Gesamtbelastung zwischen dem Auswertzeitraum vor dem Ausbau und nach dem Ausbau von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der PM_{10} -Zusatzbelastung resultierte auch aus

- 6.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Abnahme der Hintergrundbelastung,
- 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Abnahme durch unterschiedliche meteorologische Bedingungen,
- 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Reduktion der ZB durch Veränderung der Verkehrsmenge und -zusammensetzung sowie veränderte fahrzeugspezifische Emissionen.

Dadurch ergab sich eine Reduktion durch Verbesserung des Verkehrsflusses (Grüne Welle) trotz höherer Fahrzeuggeschwindigkeiten von ca. 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ca. 35 % der PM_{10} -Zusatzbelastung).

4 Feldversuch zur Bestimmung des Einflusses verkehrsberuhigender Maßnahmen auf die PM_x -Belastung

4.1 Auswahl der Messstrecke

Zunächst war eine geeignete Messstrecke zu finden. Diese sollte folgende Randbedingungen aufweisen:

- Sie sollte eine Hauptverkehrsstraße mit hohem Verkehrsaufkommen sein, an der „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen durchgeführt werden: Tempolimit und/oder Verbesserung Verkehrsfluss auf niedrigem Geschwindigkeitsniveau.
- Sie sollte eine Dauermessstelle enthalten.
- In der Nähe sollte eine städtische Hintergrundmessstelle sein.

Hierzu wurden 15 Städte, dort die jeweiligen Abteilungen Verkehrsplanung, angeschrieben. Die Resonanz war überwiegend positiv. Insbesondere die Städte Halle, Leipzig, Potsdam, Frankfurt/Main, Göttingen, München, Chemnitz und Rostock bekundeten großes Interesse an einer Zusammenarbeit. Aus fachlichen und logistischen Aspekten wurde in Abstimmung mit der fachlichen Betreuergruppe der BASt der Bereich Merseburger Straße in Halle als Referenzstrecke ausgewählt.

Die Merseburger Straße (B 91) ist eine nord-süd-orientierte 4-streifige Hauptverkehrsstraße in Halle. Die Verkehrsbelegung liegt bei ca. 32 000 Kfz/d. In Straßenmitte fährt die Straßenbahn auf einem separaten Gleis. Der Messcontainer Halle/Merseburger Straße (HEVC) des Landesamtes für Umweltschutz befindet sich auf der westlichen Seite am nördlichen Ende eines im Wesentlichen beidseitig dicht bebauten Areals. Nördlich anschließend öffnet sich die eng bebaute Merseburger Straße zum Riebeckplatz, der einen sehr stark befahrenen (ca. 85 000 Kfz/d), nach Osten durch die dort befindlichen Bahnanlagen eher offen bebauten Knotenpunkt darstellt.

4.2 Untersuchungsgebiet und Messzeitraum

Bild 4.1 vermittelt einen Überblick über das geplante Untersuchungsgebiet. Neben der Merseburger Straße, in der auf einer Länge von ca. 500 m entsprechend des PM10-Aktionsplanes der Stadt Halle erstmals ab 01.09.2005 jeweils zwischen dem 01.09. und dem 30.04. ein Tempolimit von 30 km/h eingerichtet ist, wurden in die Untersuchungen weitere umliegende Hauptverkehrsstraßen (Phillip-Müller-Straße, Rudolf-Ernst-Weise-Straße, Turmstraße, Pfännerhöhe, Raffineriestraße) sowie Nebenstraßen (Osendorfer Straße, Ernst-Kamieth-Straße, Bruckdorfer Straße, Buddestraße, Karl-Meiseberg-Straße) einbezogen.

Die Messungen wurden im Zeitraum 21.04. bis 09.05.2008 (3 Wochen) durchgeführt.

4.3 Untersuchte „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen

Die in Tabelle 4.1 aufgeführten Maßnahmen wurden hinsichtlich ihrer verkehrlichen und lufthygienischen Auswirkungen innerhalb des Zeitraumes 21.04. bis 30.04.2008 untersucht.

Zusätzlich wurde über dynamische Informationstafeln des Parkleitsystems der Stadt Halle (Saale) ein digitaler Schriftzug zur Information an die Bürger aktiviert. Dabei sollte um verstärkte Nutzung der Parkplätze/-häuser und der Nahverkehrsmittel gebeten werden. Der digitale Schriftzug enthielt folgenden Wortlaut:

ERHÖHTE FEINSTAUB-KONZENTRATION
IN HALLE!
NUTZEN SIE BITTE NAHVERKEHRSMITTEL

Es sei darauf hingewiesen, dass die Straßenbahn nicht von der Geschwindigkeitsbegrenzung betroffen war. Nach dem 01.05.2008 wurden alle Maßnahmen inklusive Tempolimit aufgehoben. Es galt somit die innerörtlich „normale“ Geschwindigkeitsbegrenzung auf 50 km/h. Die Lagen der Standorte, an denen die entsprechenden Schilder, Tafeln bzw. die Radarkontrollen positioniert waren, sind in den Bildern 4.2a und 4.2b dargestellt.



Bild 4.1: Untersuchungsgebiet um die Merseburger Straße in Halle. Rot markiert ist der Container mit der Messstelle Halle/Merseburger Straße (HEVC), grün der Standort des Luftmessfahrzeuges des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Messbus). Orange markiert ist das untersuchte Straßennetz

Nr.	Maßnahme		Zeitraum
1.	Tempolimit auf 30 km/h in der Merseburger Straße in beide Fahrrichtungen, signalisiert durch ein Verkehrsschild mit Zusatzhinweis „Feinstaub“		21.04.-02.05.2008 (ca. 6:00 Uhr)
2.	Wie 1. nur mit zusätzlicher Inbetriebnahme eines mobilen Radargerätes mit Geschwindigkeitsanzeige (für beide Fahrrichtungen)		23.04.-05.05.2008 (ca. 9:00 Uhr)
3.	Wie 2. nur mit zusätzlichem Hinweis auf eine Geschwindigkeitskontrolle		24.04.-02.05.2008 (ca. 6:00 Uhr)
4.	Wie 3. nur mit zusätzlicher Radarkontrolle durch das Ordnungsamt der Stadt Halle		24.04.08: 08:00 – 10:15 Uhr (SA) 25.04.08: 07:58 – 10:22 Uhr (SE) 14:58 – 16:34 Uhr (SA) 30.04.08: 10:01 – 12:52 Uhr (SA) 15:22 – 17:56 Uhr (SE)

Tab. 4.1: Im Messzeitraum durchgeführte Maßnahmen zur „Verkehrsberuhigung“, SE = stadteinwärts; SA = stadtauswärts

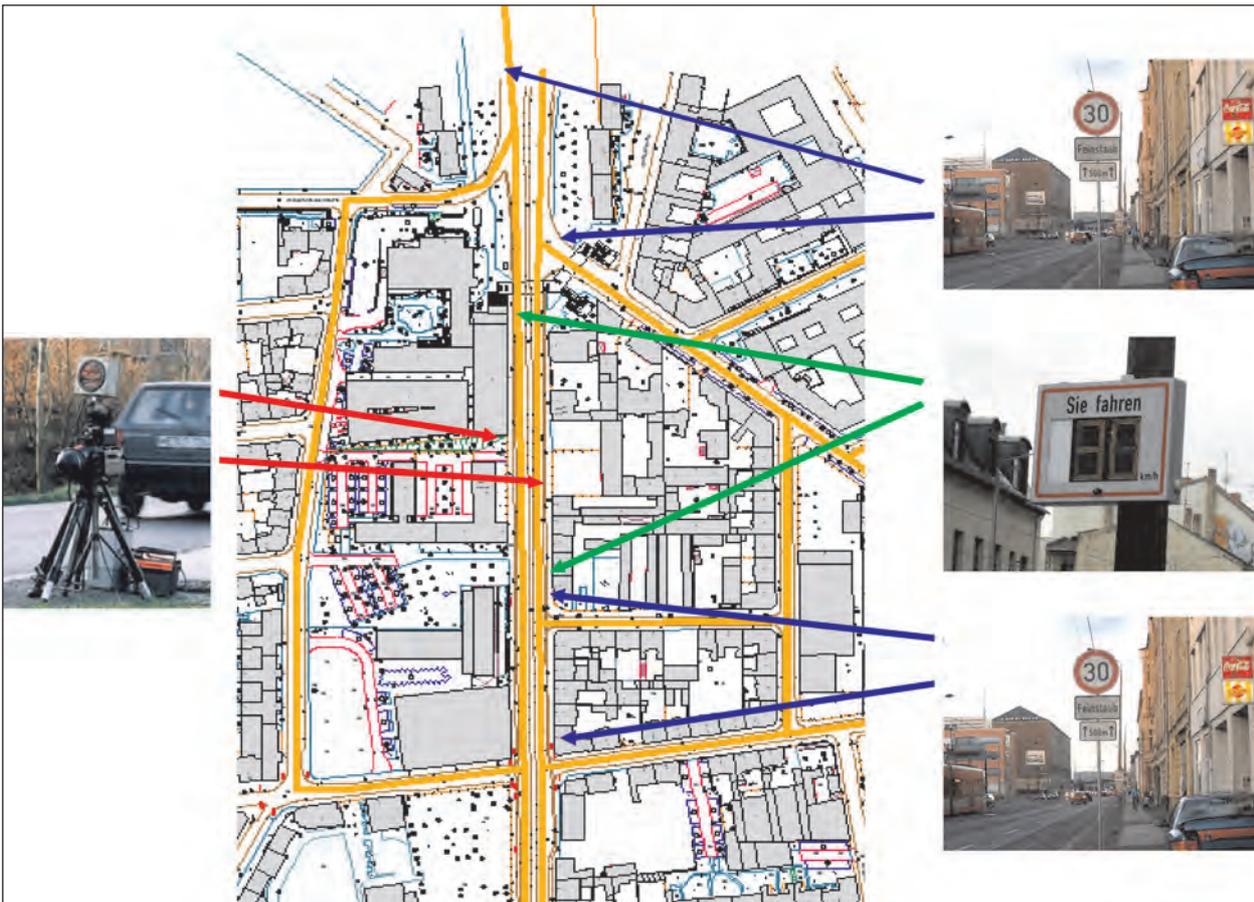


Bild 4.2a: Positionen der entsprechenden Schilder, Tafeln bzw. der Radarkontrollen



Bild 4.2b: Grafische Darstellung der Informationstafel-Standorte und Abbildung einer Dynamischen Informationstafel

4.4 Beschreibung der eingesetzten Mess- und Analyseverfahren

4.4.1 Messfahrzeug SNIFFER

Für die räumlich differenzierte messtechnische Ermittlung der Immissionssituation kam das mobile Messfahrzeug SNIFFER (KUPIAINEN et al. 2005, 2008; PIRJOLA, 2008, siehe Bild 4.3) zum Einsatz.

Die Messinstrumente befinden sich in einem VW LT35 Dieselfahrzeug mit einer Länge von 5 585 mm, einer Breite von 1 933 mm einer Höhe von 2 570 mm und einem maximalen Gewicht von 3 550 kg. Die gasförmigen Luftschadstoffe an der Front des Fahrzeuges wurden in Fahrtrichtung in einer Höhe von 2.4 m (main inlet) angesaugt und entsprechend analysiert. Analysiert werden u. a. CO (Modell CO12M, Environment S.A.), NO und NO₂ (Modell APNA 360, Horiba). Eine detaillierte Beschreibung dieser Analysatoren ist in PIRJOLA et al. (2004a, 2004b, 2007, 2008) zu finden.

Die partikelförmigen Schadstoffe werden zum einen hinter dem linken Hinterrad durch ein konisches Einsaugrohr mit einem trapezförmigen Querschnitt (0.2 m x 0.22 m) abgesaugt. Das untere Ende des Querschnittes befindet sich 7 cm über der Straßenoberfläche, der Abstand zum Rad beträgt ca. 5 cm. Abgesaugt wird mit einem konstanten Volumenstrom von 1 600 Litern pro Minute.

Aus diesem Luftstrom werden ein TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance, Series 1400A, RUPPRECHT & PATASHNICK) für die Bestimmung der Partikelmassen sowie ein ELPI (Electric Low Pressure Impactor, Dekati Ltd) für die Bestimmung der Partikelanzahl- und -größenverteilungen gespeist. Der totale Volumenstrom beträgt hierbei 13 Liter pro Minute (3 LpM für TEOM und 10 LpM für ELPI). Bei diesem Volumenstrom selektiert ein SAC-65 (Dekati) Partikelgrößen von 9.2 µm. Das



Bild 4.3: SNIFFER während des Einsatzes. Rechts im Hintergrund ist der Messcontainer HEVC zu erkennen

TEOM arbeitet bei 50 °C. Aus verschiedenen Arbeiten, z. B. HITZENBERGER et al. (2004) ist bekannt, dass es bei diesen Temperaturen zur Verdampfung von halbflüchtigen Aerosolen (wie z. B. Ammoniumnitrat und verschiedenen organischen Komponenten) kommen kann. Ein daraus resultierender Minderbefund kann hier vernachlässigt werden, da Straßenstaub und Abriebe meistens aus nicht flüchtigen Materialien bestehen. An Partikel angelagertes Wasser wird bei PM₁₀-Bestimmung mit SNIFFER erfasst.

Die Partikelanzahl- und -größenverteilungen werden durch zwei ELPI bestimmt. Eins analysiert die Partikel, welche in Fahrtrichtung in ca. 0.7 m Höhe über der Fahrbahn (chasing inlet) abgesaugt werden („Vorbelastung“). Das andere wird, wie oben beschrieben, aus dem Luftstrom gespeist, welcher hinter dem linken Hinterrad abgesaugt wird. Analysiert werden die Partikelgrößenverteilungen in 12 Klassen zwischen 7 nm und 10 µm (Aerodynamischer Durchmesser). Aus den daraus abgeleiteten PM_{2.5}-Massenkonzentrationen werden die Abgaspartikel eliminiert, indem nur die Partikelgrößen zwischen 1 und 2.5 µm ausgewertet wurden (im Folgenden auch PM_{1-2.5} genannt). Die Dichte dieser Partikel wurde mit 2 000 kg/m³ festgelegt. Diese ist etwas kleiner als für Mineralstaub (ca. 2 500 kg/m³), weil in diesem Größenbereich auch Salz, organische Stoffe, Nitrate und Sulfate enthalten sind.

Ein Maß für den mit dem SNIFFER-Inlet gemessenen nicht motorbedingten PM₁₀-Emissionsfaktor¹ (EF) wird durch eine so genannte Transferfunktion auf Basis des SNIFFER-Signals S (Differenz der PM₁₀-Konzentration am Hinterrad und der PM_{2.5}-Konzentration an der Front des Fahrzeuges) ermittelt. Die Transferfunktion wird durch KUPIAINEN et al. (2008) mit $EF = 18.5 \cdot S^{0.55}$ (S in µg/m³ und EF in mg/km) angegeben (siehe auch PIRJOLA et al., 2007).

Die SNIFFER-Messungen fanden unter Nutzung von Sommerreifen statt.

Somit liegen Informationen zu den nicht motorbedingten PM₁₀-Konzentrationen (über TEOM aus Inlet) und PM_{1-2.5}-Konzentrationen (über ELPI aus Inlet) sowie einem Maß für die durch SNIFFER verursachten nicht motorbedingten PM₁₀-Emissionsfaktoren vor.

¹ Im Folgenden wird dieser Wert auch SNIFFER-PM₁₀-Emissionsfaktor genannt.

Eine detaillierte Beschreibung einschließlich der Studien zur Qualitätssicherung sind u. a. in KUPIAINEN et al. (2005, 2008) zu finden.

Zusätzlich zu diesen Messgrößen werden mittels GPS die Position des Fahrzeuges und die Geschwindigkeit des Fahrzeuges aufgezeichnet. Weiterhin werden meteorologische Messgrößen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) aufgezeichnet.

Mit SNIFFER erfolgte die Befahrung des in Bild 4.1 dargestellten Straßennetzes für den Fall mit und ohne „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen.

Die Befahrung erfolgte jeden Tag (Montag bis Sonntag) für die Zeiten 3 Uhr (Nacht), 7 Uhr (rush hour), 12 Uhr (normale Verkehrssituation) und 17 Uhr (rush hour). Das Messfahrzeug sollte dabei im allgemeinen Verkehrsstrom mitschwimmen („floating car“), also die reale Situation abbilden. Es wurden zu jeder der genannten Zeiten drei Runden gefahren (Bild 4.4), um das gesamte Straßennetz zu erfassen. Jede Runde wurde je dreimal befahren. Die Fahrzeit für die drei mal drei Runden betrug etwa 1 bis 1.5 Stunden. Die Länge des Straßennetzes beträgt ca. 3.7 km.

Während der Messungen wurden die Messdaten des TEOM alle 10 Sekunden bzw. alle 2 Sekunden (die anderen Daten) gespeichert. Diese und die daraus berechneten SNIFFER-Emissionsfaktoren wurden dann zu Mittelwerten der Straßenabschnitte (Bild 4.6) zusammengefasst.

Während der Datenanalyse wurde festgestellt, dass bei der Fahrt über den (quasi kreisverkehrsähnlichen) Ribbeckplatz (und nur dort) das TEOM-Gerät nicht immer fehlerfrei arbeitete. Wahrscheinlich lag es an der Wirkung der dort vorliegenden horizontalen Beschleunigungskräfte auf den im TEOM eingebauten Oszillator. Dieser Straßenabschnitt

war zwar nicht direkter Bestandteil des ausgewerteten Straßennetzes, wegen der Mittelungszeiten des TEOMs von 30 Sekunden beeinflusste dies aber in diesen Fällen die PM10-Ergebnisse des Straßenabschnittes 1. Dieser Effekt wurde durch eine Korrektur auf Grundlage der zeitlich feiner aufgelösten PM1-2.5-Konzentrationen und des letzten nicht davon beeinflussten PM10/PM1-2.5-Konzentrationsverhältnisses berücksichtigt.

4.4.2 Bestimmung Verkehrssituationen und Fahrzeuggeschwindigkeiten

Die Ermittlung der Verkehrssituationen wurde durch die TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, durchgeführt. Für die gleichen Straßenabschnitte wie bei den Messfahrten mit SNIFFER wurden dazu Messfahrten nach der so genannten „Floating car“-Methode durchgeführt. Dabei schwimmt das Messfahrzeug im Verkehrsfluss mit und misst – mit einem angebauten Peiseler-Messrad (Bild 4.5) – in Sekundenschritten die zurückgelegte Wegstrecke und die



Bild 4.5: Messfahrzeug der TU Dresden mit angebautem Peiseler-Messrad

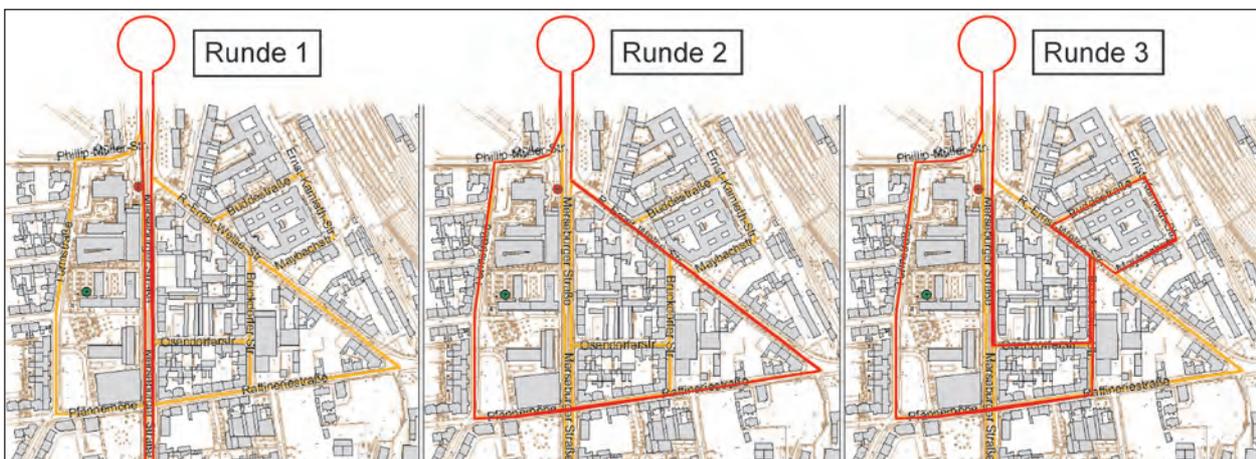


Bild 4.4: Fahrtrouten des Messfahrzeuges

momentane Geschwindigkeit. Diese Messdaten wurden nach statistischen Verfahren ausgewertet und mit den charakteristischen Größen der Verkehrssituationen des Handbuches für Emissionsfaktoren (HBEFa) verglichen. Daraus wurden dann die Zuordnungen zu den Verkehrssituationen festgelegt. Die Messfahrten fanden am 23./24.04.2008 (Situation mit Tempo 30) sowie 05./06.05.2008 (Situation mit Tempo 50) statt. Für jede Stunde des Tages liegen damit Informationen über die Verkehrssituationen und Fahrzeuggeschwindigkeiten vor.

Informationen zu den Fahrzeuggeschwindigkeiten im Straßennetz wurden auch von SNIFFER aufgezeichnet, sodass für jeden Messtag an vier Stunden die entsprechenden Informationen vorlagen.

Zusätzlich konnten Informationen zu den Fahrzeuggeschwindigkeiten aus den automatischen Verkehrszählungen (siehe unten) abgeleitet werden.

Die statistische Analyse der Messfahrten erfolgte dann, genau wie die Auswertung der SNIFFER-Daten, straßenabschnittsbezogen. Die Festlegung der Straßenabschnitte ist in Tabelle 4.2 und Bild 4.6 gegeben.



Bild 4.6: Kennzeichnung der ausgewerteten Straßenabschnitte sowie der Fahrrichtungen

Abschnitt	Richtg.	Straße	von	bis	Länge
1	Hin	Merseburger Straße	Riebeckplatz	Abzweig Philipp-Müller-Str.	257
2	Hin	Merseburger Straße	Abzweig Philip-Müller-Str.	Anzeigetafel Richtung Süd	112
3	Hin	Merseburger Straße	Anzeigetafel Richtung Süd	Anzeigetafel Richtung Nord	144
4	Hin	Merseburger Straße	Anzeigetafel Richtung Nord	Pfännerhöhe	136
5	Hin	Merseburger Straße	Pfännerhöhe	H.-Schütz-Ring	354
6	Hin	Merseburger Straße	H.-Schütz-Ring	Raffineriestr.	371
7	Hin	Merseburger Straße	Raffineriestr.	Anzeigetafel Richtung Nord	136
8	Hin	Merseburger Straße	Anzeigetafel Richtung Nord	Anzeigetafel Richtung Süd	144
9	Hin	Merseburger Straße	Anzeigetafel Richtung Süd	Riebeckplatz	361
10	Hin	Philipp-Müller-Straße	Abzweig Merseburger Str.	Turmstraße Nr.159	162
11	Hin	Turmstraße	Turmstraße Nr.159	Bernhardystr.	170
12	Hin	Turmstraße	Bernhardystr.	Pfännerhöhe Nr.40	182
13	Hin	Pfännerhöhe	Pfännerhöhe Nr.40	Merseburger Str.	85
14	Hin	Raffineriestraße	Merseburger Str.	Bruckdorfer Str.	151
15	Hin	Raffineriestraße	Bruckdorfer Str.	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	192
16	Hin	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	Raffineriestraße	R.-E.-Weise-Str. Nr.23	140
17	Hin	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	R.-E.-Weise-Str. Nr.23	Bruckdorfer Str.	112
18	Hin	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	Bruckdorfer Str.	Merseburger Str.	163
19	Hin	Bruckdorfer Straße	Raffineriestr.	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	183
19	Rück	Bruckdorfer Straße	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	Raffineriestr.	125
20	Hin	Osendorfer Straße	Bruckdorfer Straße	Merseburger Str.	134
21	Hin	Maybachstraße	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	Ernst-Kamieth-Str.	99
22	Hin	Ernst-Kamieth-Str.	Maybachstraße	Buddestr.	94
23	Hin	Buddestr.	Ernst-Kamieth-Str.	Rudolf-Ernst-Weise-Str.	147

Tab. 4.2: Beschreibung der ausgewerteten Straßenabschnitte. Länge in Metern

4.4.3 Verkehrszählungen

Automatische Verkehrszählungen wurden mittels NC90-Zählplatten von der Stadt Halle und dem Lehrstuhl für Verkehrsökologie in der Merseburger Straße (stadteinwärts), der Turmstraße, der Pfännerhöhe, der Raffineriestraße und der Rudolf-Ernst-Weise-Straße durchgeführt. Das Messsystem erfasst in berührungsloser Arbeitsweise die Anzahl, Länge und Geschwindigkeit der Fahrzeuge, die das Messsystem überfahren, und legt die Daten in einem integrierten Speicher ab.

Weiterhin standen kontinuierliche Verkehrszählungen (1/2-h-Werte) an der Messstation Merseburger Straße HEVC (stadtauswärts) des Landesamtes für Umweltschutz zur Verfügung. Diese Verkehrsdaten werden dort getrennt nach Pkw und Lkw in drei Geschwindigkeitsklassen sortiert: 0 bis 10 km/h, 10 bis 30 km/h, größer 30 km/h.

Für die wenig befahrenen Nebenstraßen (Maybachstraße, Bruckdorfer Straße) wurden durch die TU Dresden manuelle Stichprobenzählungen durchgeführt.

4.4.4 Immissionsdaten in Halle

Vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt wurden für den Messzeitraum Daten (1/2-h-Werte) aller im LÜSA gemessenen Größen zur Verfügung gestellt. In Tabelle 4.3 sind die für Halle verfügbaren Messstationen und die dazugehörigen direkt gemessenen Schadstoffe dargestellt. Die Station Halle-Ost repräsentiert hierbei die städtische Hintergrundbelastung. Extra für die Messkampagne wurde das Luftmessfahrzeug im Untersuchungsgebiet auf dem Parkplatz der Polizeidienststelle (zwischen Merseburger Straße und Turmstraße) stationiert (Bild 4.7, Lage siehe Bild 4.1). Diese repräsentiert weitgehend die lokale Hintergrundbelastung für die Messstation Halle/Merseburger Straße, ist aber bei westlichen Windrichtungen durch den Verkehr auf der Turmstraße leicht beeinflusst. Der ursprünglich angedachte Stellplatz in der Osendorferstraße konnte wegen dort durchgeführter Abbrucharbeiten nicht wahrgenommen werden.

4.4.5 Meteorologische Daten in Halle

An den berücksichtigten Messstandorten werden auch meteorologische Parameter gemessen (vergleiche Tabelle 4.4). Auch diese Daten standen für den Messzeitraum als 1/2-h-Werte zur Verfügung.

Messgröße	Einheit	Halle/ Merseburger Straße	Halle- Luftmess- fahrzeug	Halle-Ost
PM10	µg/m ³	•	•	•
PM2.5	µg/m ³	•	-	•
Stickstoffdioxid	µg/m ³	•	•	•
Stickstoffmonoxid	µg/m ³	•	•	•
Ozon	µg/m ³	-	•	•

Tab. 4.3: Zusammenstellung von an den Messstationen in Halle verfügbaren Schadstoffen



Bild 4.7: Blick zum Luftmessfahrzeug des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt in südliche Richtung

Messgröße	Einheit	Merse- burger Straße	Halle-Luft- messfahr- zeug	Halle- Nord	Halle- Ost
Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe	m/s	-	•	-	•
Windrichtung in 10 m Höhe	°	-	•	-	•
Gesamtstrahlung	W/m ²	-	-	•	-
Niederschlag	mm	-	•	•	-
Relative Luftfeuchte	%	-	•	-	•
Temperatur in 2 m Höhe	°C	-	•	-	•
Temperatur in 40 m Höhe	°C	-	-	-	•

Tab. 4.4: Zusammenstellung der meteorologischen Größen

5 Ergebnisse

5.1 Verkehrsbelegungen im Straßennetz

Es wurde angestrebt, die Verkehrsbelegungen im Untersuchungsgebiet im Untersuchungszeitraum vom 21.04.2008 bis 09.05.2008 möglichst detailliert und umfassend zu erheben bzw. alle vorhandenen

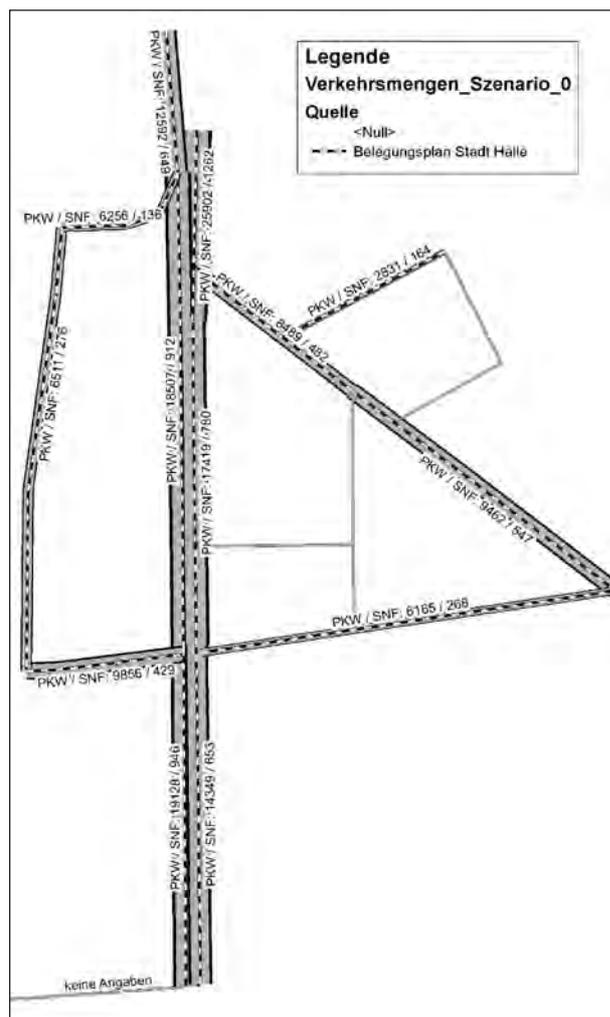


Bild 5.1: Belegungsplot Szenario 0 (Belegungsplan Stadt Halle 2005)

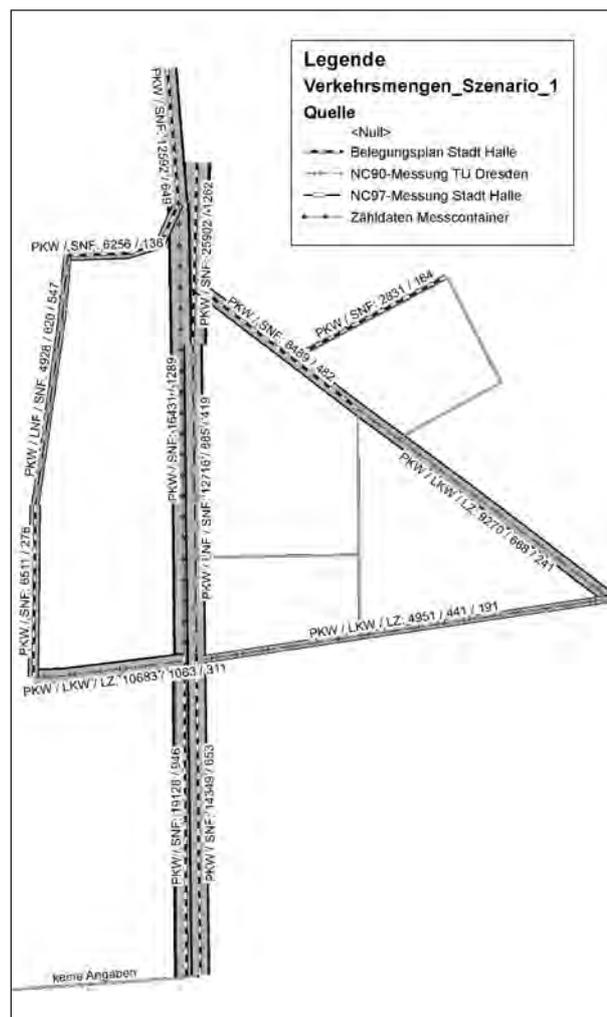


Bild 5.2: Belegungsplot Szenario 1 (Werktagsverkehr Tempo 30/21.04. bis 25.04.2008) LZ = Lastzüge

Datenquellen zu nutzen. Die Datenauswertung wurde durch die TU Dresden durchgeführt.

In den Bildern 5.1 bis 5.3 wurden die analysierten Verkehrszahlen in Belegungsplots zusammengestellt. Die aufgeführten Szenarien sind dabei folgendermaßen definiert:

Szenario 0:

Daten des Belegungsplanes der Stadt Halle 2005

Szenario 1 (Tempo 30):

Mittelwerte des Werktagsverkehrs der Woche vom 21.04. bis 25.04.2008 der NC97-Zählung der Stadt Halle an der Turmstraße und der Merseburger Straße und der Verkehrsdaten der Luftmessstelle an der Merseburger Straße, Mittelwerte aller gezählten Werktage der NC90-Zählung der TU Dresden an der Pfännerhöhe, der Raffineriestraße und der Weisestraße, Daten des Belegungsplanes 2005 der Stadt Halle für alle weiteren Straßen.

Szenario 2 (Tempo 50):

Mittelwerte des Werktagsverkehrs der Woche vom 05.05. bis 09.05.2008 der NC97-Zählung der Stadt Halle an der Turmstraße und der Merseburger Straße und der Verkehrsdaten der Luftmessstelle an der Merseburger Straße, Mittelwerte aller gezählten Werktage der NC90-Zählung der TU Dresden an der Pfännerhöhe, der Raffineriestraße und der Weisestraße, Daten des Belegungsplanes 2005 der Stadt Halle für alle weiteren Straßen.

Insgesamt liegen damit sehr umfangreiche Verkehrsdaten vor. Bei der Auswertung der Daten ergeben sich allerdings verschiedene Probleme, speziell bei der Bestimmung des Anteils der schweren Nutzfahrzeuge. So grenzen die unterschiedlichen Zählsysteme die Längenklassen unterschiedlich gegeneinander ab. Für die Zähldaten aus dem Jahr 2005 liegen keine Angaben zur Abgrenzung der Längenklassen vor.

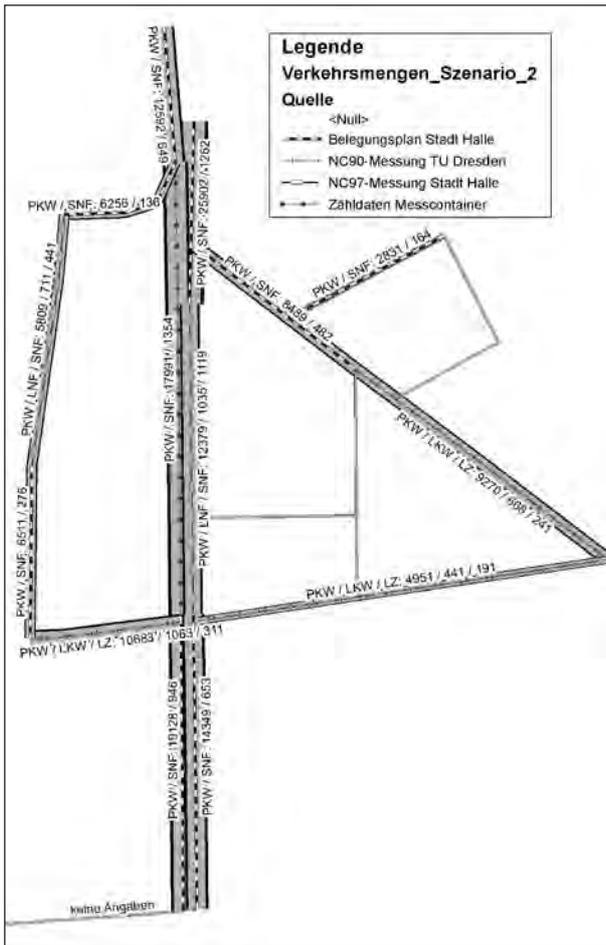


Bild 5.3: Belegungsplot Szenario 2 (Werktagsverkehr Tempo 50/05.05. bis 09.05.2008), LZ = Lastzüge

Besonders die Ergebnisse der NC97-Zählungen auf der Turmstraße im Auftrag der Stadt Halle liefern deutlich höhere Lkw-Anteile als der Belegungsplan der Stadt Halle.

Zu diskutieren war hier die Frage, ob aus den Verkehrszahlen ein Einfluss der Tempo 30-Maßnahme auf die Verkehrsstärke ablesbar ist. Beim Blick auf die Entwicklung der Verkehrszahlen der Pkw an der Merseburger Straße in stadtauswärtiger (südlicher) Richtung (Bild 5.5) könnte dieser Eindruck entstehen.

In der dritten Untersuchungswoche steigen die Pkw-Zahlen deutlich an. Relativiert wird dies allerdings, wenn man sich die Gegenrichtung der Merseburger Straße (Bild 5.4) betrachtet.

Hier ist für die dritte Woche keine Veränderung bei den Pkw-Zahlen festzustellen. Ebenfalls gegen einen solchen Einfluss spricht, dass auch auf der Turmstraße die Kfz-Zahlen in der dritten Untersuchungswoche steigen (Bild 5.6), obwohl dort keine Veränderung des Tempolimits vorgenommen wurde.

Zu vermuten ist, dass ein Teil der gestiegenen Belegung in den drei Tagen vor dem 1. Mai und in der Woche vom 05.05. bis 09.05.2008 durch vorgezogene oder nachgeholte Fahrten in Verbindung mit den Feiertagen Himmelfahrt und Pfingsten zu begründen ist.

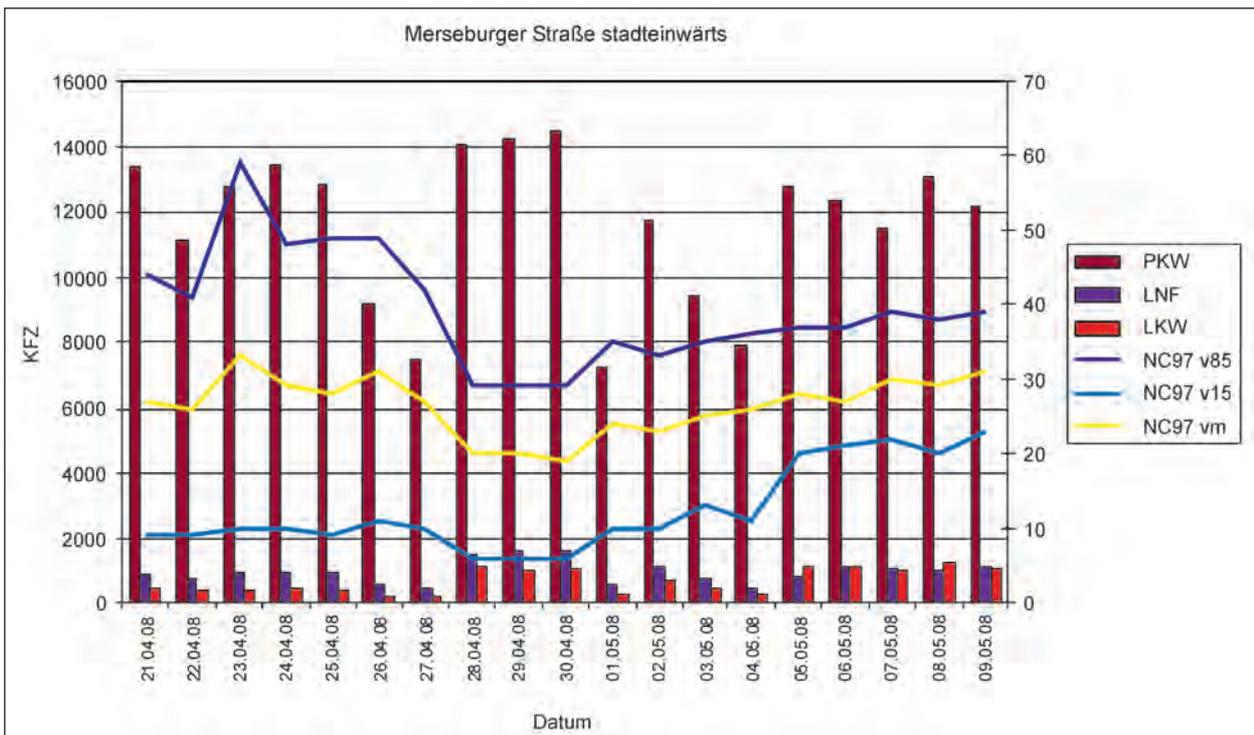


Bild 5.4: Verkehrszahlen und Geschwindigkeiten Merseburger Straße stadteinwärts

Dies sieht die Verkehrsplanung in Halle auch als Grund für die stark erhöhten Lkw-Belegungen in der zweiten und dritten Untersuchungswoche auf

der Merseburger Straße stadteinwärts. Es stellt sich hier allerdings die Frage, warum dieser Effekt dann nur in der stadteinwärtigen (Richtung Nord)

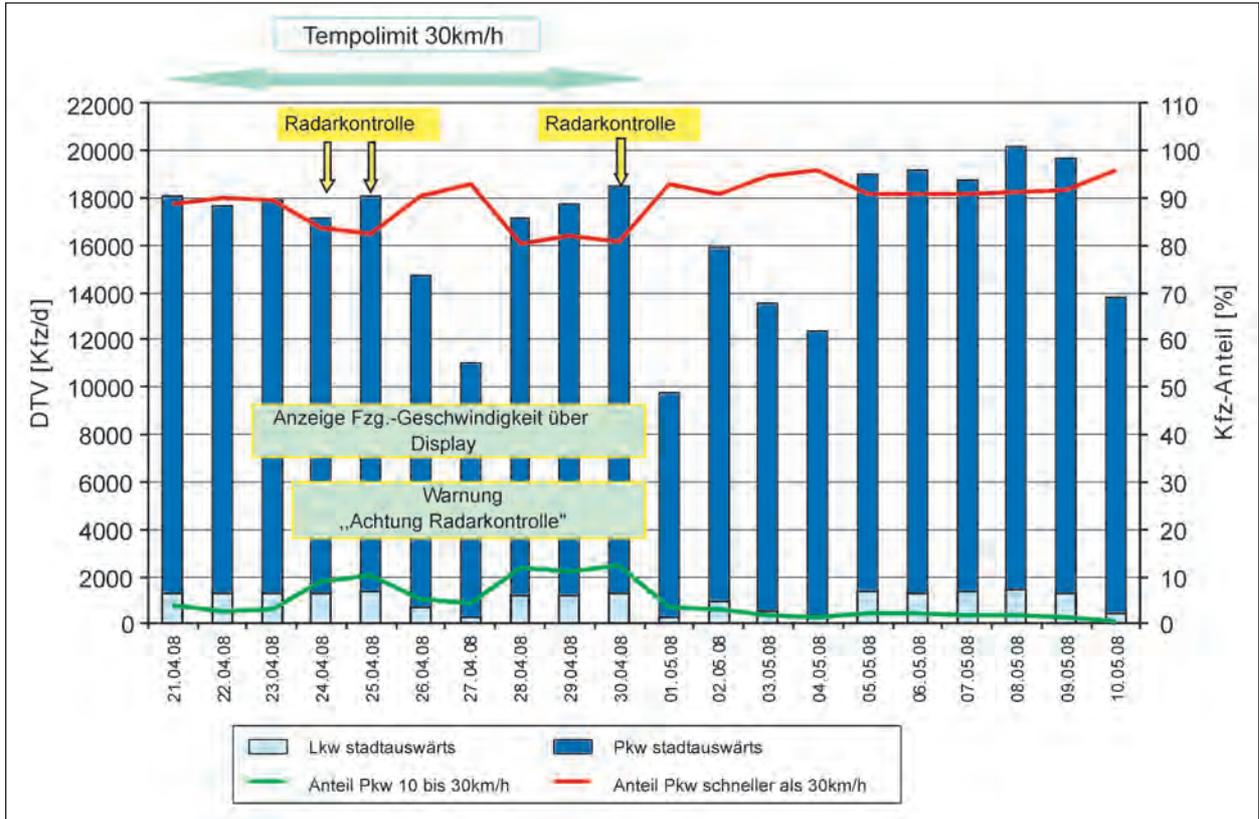


Bild 5.5: Verkehrszahlen und Geschwindigkeiten Merseburger Straße stadtauswärts

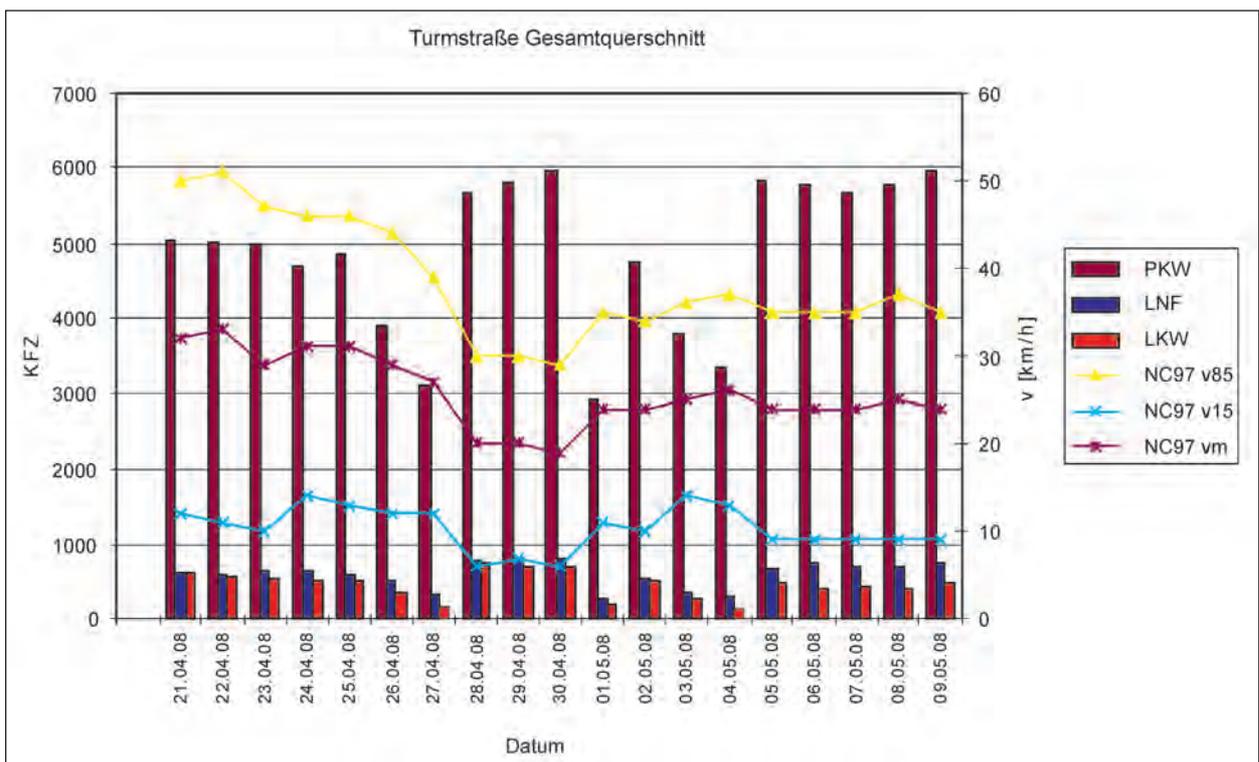


Bild 5.6: Verkehrszahlen und Geschwindigkeiten Turmstraße

Richtung so stark auftritt. Hier könnte eine Rolle spielen, dass die Lkw-Fahrer in der ersten Woche die Stauwarnung aufgrund der Baustelle Volkmannstraße gehört haben und ausgewichen sind. Ohnehin sind nach Angaben der städtischen Verkehrsplanung die Lkw-Belegungen auf der Merseburger Straße in Richtung stadteinwärts seit Eröffnung der Osttangente zurückgegangen.

Schwer zu erklären bleibt dennoch, dass sich die Anzahl und der Anteil der Lkw auf der Merseburger Straße laut NC97-Zählung in der zweiten und dritten Untersuchungswoche gegenüber der ersten Woche verdoppeln. Eine Fehlfunktion der NC97-Platten bei der Abgrenzung der Fahrzeuglängen schließen wir hier nicht aus.

5.2 Verkehrssituationen und Fahrzeuggeschwindigkeiten

Die Auswertung dieser Daten wurde ebenfalls von der TU Dresden durchgeführt. Die folgenden Ausführungen fassen die Ergebnisse zusammen.

Für die Betrachtung des Fahrverhaltens im Untersuchungsgebiet vor und nach der Aufhebung des Tempolimits auf der Merseburger Straße muss das Messnetz in zwei Gruppen von Straßen eingeteilt werden: zum einen das Nebennetz, welches von der Tempolimitregelung nicht direkt betroffen war und zum anderen die Merseburger Straße, für die im Vorher-Fall Tempo 30 und im Nachher-Fall Tempo 50 galten.

Die Erhebung der Geschwindigkeiten im Nebennetz zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen der Vorher- und der Nachher-Untersuchung. Abschnittsweise auftretende Unterschiede lassen sich zum Teil durch zufällige Einflüsse erklären. So war der Stau am 24.04.2008 in den Abschnitten 16 bis 18 (Rudolf-Ernst-Weise-Straße) durch einen baumaßnahmenbedingten Rückstau über den Riebeckplatz bedingt. Eine leichte Erhöhung der Geschwindigkeiten des SNIFFER auf den Nebennetzstraßen in der zweiten Projekthälfte ist eventuell auf die im Laufe des Untersuchungszeitraums erworbene Fahrtroutine auf der Messstrecke zurückzuführen. Aus der Auswertung der Messfahrten liegt für alle befahrenen Abschnitte des Nebennetzes das erhobene Fahrverhalten vor. Durch die Geschwindigkeitsmessreihe des SNIFFER werden die Werte der beiden Messtage der TU Dresden weitgehend bestätigt. Bei der Auswertung trat allerdings das Problem auf, dass nicht für alle erhobenen

Arten des Fahrverhaltens auch Verkehrssituationen im HBEFA vorliegen. Hier wurden deshalb die Verkehrssituationen „HVS2_30“ und „Nebenstraßen_frei“ neu definiert.

Bei der Erhebung der Geschwindigkeiten auf der Merseburger Straße zeigten die Messfahrten der TU Dresden eine deutliche Tendenz zur Erhöhung der Geschwindigkeiten nach Wegfall der Tempo 30-Regelung. Diese Tendenz wird auch durch die Geschwindigkeitsmesswerte der Luftmessstelle und die Messreihe des SNIFFER bestätigt. Aus den Daten der Displays kann man hier keine eindeutige Aussage ableiten, da sie nicht über den ganzen Untersuchungszeitraum in Betrieb waren. Die Geschwindigkeitsdaten der NC97-Platten auf der Merseburger Straße stadteinwärts sind widersprüchlich.

Die bei den Messfahrten ermittelte Erhöhung der Reisegeschwindigkeit lag in einem Bereich bis zu 8 km/h bei freien Abschnitten. Das um 20 km/h verminderte Tempolimit führte also nur zu einer Geschwindigkeitsminderung von bis zu 8 km/h Reisegeschwindigkeitsdifferenz, was allerdings bei der Gestaltung des Straßenraumes (vierspurige Straße mit Straßenbahn in Mittelage) nicht überrascht.

In den Bildern 5.7 bis 5.10 sind die aus den Messfahrten der TU Dresden entstandenen Fahrprofile der gesamten befahrenen Strecke der Merseburger Straße dargestellt. In Tabelle 5.1 sind die entsprechenden statistischen Daten über alle Messfahrten zusammengestellt. Mit diesen erfassten statistischen Kenngrößen wäre unter Zugrundlegung der entsprechenden Basisemissionsfaktoren eine detaillierte Emissionsberechnung möglich.

Auf der stadteinwärtigen Strecke steigt die Reisegeschwindigkeit nach Wegfall der Tempo 30-Regelung um 5 km/h an. Einen gewissen Einfluss haben

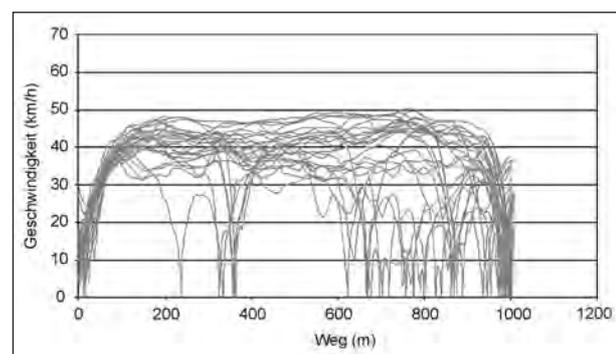


Bild 5.7: Fahrprofil aller Messfahrten am 23. und 24.04.2008 auf der Merseburger Straße in stadteinwärtiger Richtung (Tempo 30)

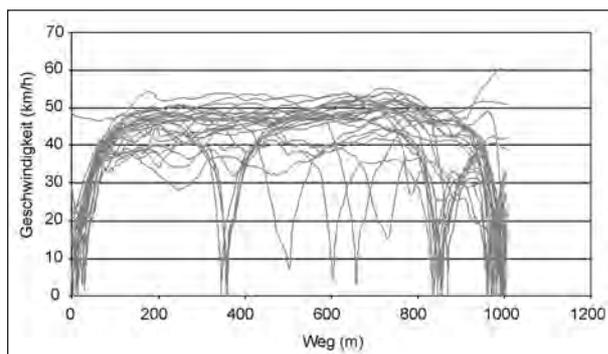


Bild 5.8: Fahrprofil aller Messfahrten am 05. und 06.05.2008 auf der Merseburger Straße in stadteinwärtiger Richtung (Tempo 50)

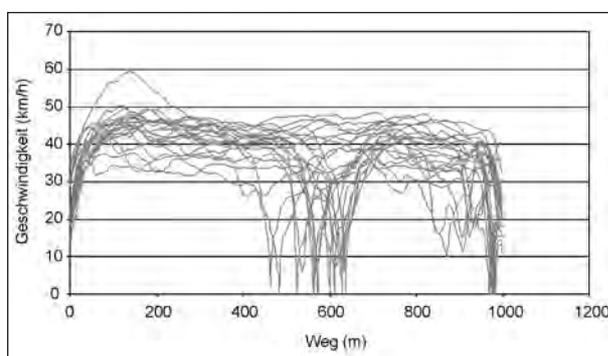


Bild 5.9: Fahrprofil aller Messfahrten am 23. und 24.04.2008 auf der Merseburger Straße in stadtauswärtiger Richtung (Tempo 30)

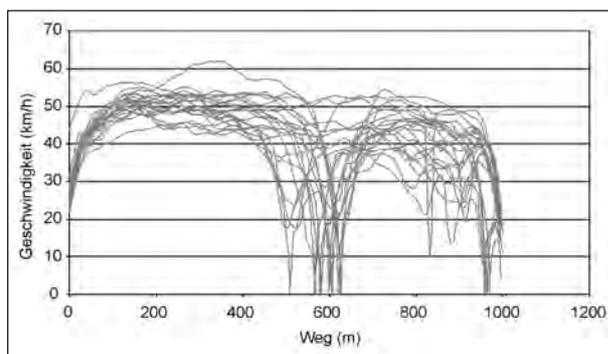


Bild 5.10: Fahrprofil aller Messfahrten am 05. und 06.05.2008 auf der Merseburger Straße in stadtauswärtiger Richtung (Tempo 50)

	V_{Reise} [km/h]	V_{Reise} Standardabw.	Standanteil [%]	Konstant- fahrt [%]
Tempo 30 stadteinwärts	24.02	17.38	24.66	40.17
Tempo 50 stadteinwärts	29.00	18.88	20.58	42.77
Tempo 30 stadtauswärts	31.04	14.88	11.69	52.60
Tempo 50 stadtauswärts	34.75	16.80	11.53	46.65

Tab. 5.1: Statistische Daten der Messfahrten auf der Merseburger Straße (Mittel über alle Straßenabschnitte)

dabei allerdings die Fahrten mit Rückstau über den Riebeckplatz am 24.04.2008.

In der stadtauswärtigen Richtung steigt die Reisegeschwindigkeit nach Wegfall der Tempo 30-Regelung um knapp 4 km/h an. Die Werte für die Standardabweichung der Geschwindigkeit, den Standanteil und die Konstantfahrtanteile weisen nur geringe Unterschiede auf.

Die räumliche Differenzierung der statistischen Kennwerte und der daraus abgeleiteten Verkehrssituationen für die Merseburger Straße sowie für alle anderen Straßenabschnitte ist in den Tabellen 5.2 und 5.3 gegeben.

Für die Straßenabschnitte im Bereich der Messstelle, die nicht bzw. nur gering von den LSA beeinflusst sind (Straßenabschnitte 2 und 3 bzw. 7 und 8), zeigen die Reisegeschwindigkeiten während der T30-Signalisierung ca. 8 km/h (stadtauswärts) bzw. ca. 5 km/h (stadteinwärts) geringere Werte. Die Standanteile und der Anteil Konstantfahrt unterscheiden sich nur gering voneinander. Im Abschnitt 3 wurde während der T50-Phase deutlich mehr und stärker gebremst als während der T30-Phase.

Zu beantworten war auch die Fragestellung, ob die Inbetriebnahme der Displays und das Aufstellen der Radargeräte zu messbaren Auswirkungen auf das Fahrverhalten führten.

An den Tagen der Messfahrten der TU Dresden standen die Radargeräte des Ordnungsamtes nur einmal 2 Stunden an der Strecke (24.04.2008). Aus den zu dieser Zeit erfolgten zwei Messfahrten kann kein Einfluss der Radarkontrolle auf die Geschwindigkeiten abgeleitet werden. Die beiden Fahrten liegen mit mittleren Geschwindigkeiten von 37 und 38 km/h direkt am Mittelwert des betroffenen Abschnittes (Abschnitt 3/37 km/h) bei Tempo 30-Regelung. Hier wirkten sich Einflüsse wie die Fahrzeugdichte auf der Strecke, die Schaltung der LSA oder Haltevorgänge der Straßenbahn deutlich stärker aus.

Auch zur Auswirkung der Displays lässt sich aus den Messfahrten keine Aussage ableiten, da die Displays bei der Vorher-Untersuchung ganztägig in Betrieb waren und somit kein Vergleichswert vorliegt.

Aus den Geschwindigkeitsdaten der Luftmessstelle, des SNIFFER und der Displays kann man allerdings einen Einfluss der Displays und des Radars in Kombination mit dem Hinweis „Achtung, Radarkontrolle“ auf die Fahrzeuggeschwindigkeit ableiten.

ten, da z. B. an den Radartagen die Quote der Kfz, die schneller als 30 km/h fuhren, deutlich geringer war (siehe Bilder 5.5 bzw. 5.12).

Am deutlichsten ist ein Rückgang der Geschwindigkeiten in den Abschnitten 2 und 3 nach Inbetriebnahme der Displays und Durchführung der Ra-

darkontrolle ab 24.04.2008 (Bild 5.5, 5.11 bzw. Tabelle 5.2 und 5.3) zu erkennen.

Die Überschreitungshäufigkeit von 30 km/h lag bei den Pkw allerdings selbst an diesem Tag bei ca. 83 % (Bild 5.5). Dies entspricht den Ergebnissen aus Kuratorium für Verkehrssicherheit (2004, siehe Bild 3.2 und UBA (2007)).

Tempo 30										
Abs Rtg Netz		Verkehrssituation	vReise	v _{st} stabw	vFahr mittel	vFahr stabw	vxb mittel	vxb stabw	Standanteil	Konstantfahrt
Abs 1 (Richtung 1)		HVS2 30	37,98	8,36	38,38	7,44	1,41	4,34	1,05%	56,39%
Abs 2 (Richtung 1)		HVS2	41,12	4,05	41,12	4,05	-0,56	2,02	0,00%	87,55%
Abs 3 (Richtung 1)		HVS2 30	37,06	9,54	37,71	8,31	-0,51	2,37	1,79%	78,77%
Abs 4 (Richtung 1)		Kern	21,24	16,57	28,49	12,78	-0,53	3,65	25,62%	33,23%
Abs 5 (Richtung 1)		LSA2	28,89	15,46	34,28	9,98	-0,77	4,28	15,78%	49,68%
Abs 6 (Richtung 1)		LSA3	24,95	16,94	32,17	11,79	0,45	3,70	22,54%	39,35%
Abs 7 (Richtung 1)		HVS2 30	38,33	5,71	38,33	5,71	0,44	2,44	0,00%	82,50%
Abs 8 (Richtung 1)		HVS2 30	36,55	9,21	37,11	8,08	-0,01	2,92	1,55%	71,96%
Abs 9 (Richtung 1)	normal	LSA3	24,31	16,91	31,92	11,63	-0,60	3,91	24,02%	35,86%
Abs 9 (Richtung 1)	Nacht	HVS4	33,31	16,87	38,70	11,04	-1,64	4,03	14,10%	55,13%
Abs 9 (Richtung 1)	Stau	STGO	6,76	9,07	15,13	7,85	-0,12	2,19	55,99%	10,52%
Abs 9 (Richtung 1)	zäh	Kern	17,42	16,59	27,48	12,65	-0,65	4,12	36,83%	17,82%
Abs 10 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	23,39	7,48	24,07	6,46	-0,39	4,40	2,95%	30,03%
Abs 11 (Richtung 1)		HVS2 30	35,65	4,94	35,65	4,94	0,92	2,31	0,00%	75,88%
Abs 12 (Richtung 1)		Kern	19,26	14,05	26,28	9,29	-0,77	3,42	26,86%	28,43%
Abs 13 (Richtung 1)		Kern	14,00	15,44	27,72	9,71	-0,86	3,99	49,70%	17,38%
Abs 14 (Richtung 1)		HVS2 30	31,32	9,90	31,32	9,90	1,10	4,95	0,00%	44,34%
Abs 15 (Richtung 1)		HVS2	29,35	17,08	36,98	9,32	-2,51	4,69	20,77%	45,38%
Abs 16 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	25,24	12,48	27,43	10,49	2,15	3,57	8,08%	31,31%
Abs 16 (Richtung 1)	Stau	STGO	6,49	4,48	8,77	3,00	-0,20	1,11	28,21%	34,62%
Abs 17 (Richtung 1)		HVS2 30	38,09	5,67	38,09	5,67	-0,74	2,26	0,00%	83,18%
Abs 17 (Richtung 1)	Stau	Kern+36%STGO	9,99	7,03	11,99	6,03	0,04	2,37	17,50%	30,00%
Abs 18 (Richtung 1)		Kern+36%STGO	8,94	13,51	23,95	11,53	-0,63	3,11	62,90%	10,53%
Abs 18 (Richtung 1)	Stau	STGO	2,64	5,24	11,84	4,47	-0,12	0,92	78,67%	3,56%
Abs 19 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	27,07	8,44	27,07	8,44	-0,72	4,49	0,00%	43,37%
Abs 19 (Richtung 2)		Nebenstr. frei	24,48	8,19	24,48	8,19	-0,62	4,94	0,00%	35,81%
Abs 20 (Richtung 1)		Nebenstr. dicht	14,91	9,46	18,41	6,89	-0,27	2,64	19,38%	37,60%
Abs 21 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	25,97	5,29	25,97	5,29	-0,04	3,79	0,00%	41,82%
Abs 22 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	29,08	4,68	29,08	4,68	-0,52	5,42	0,00%	31,71%
Abs 23 (Richtung 1)		Nebenstr. dicht	18,66	9,99	20,70	8,34	-0,66	3,05	10,09%	36,84%

Tab. 5.2 : Statistische Kenngrößen und abgeleitete Verkehrssituationen für die Fahrten am 23.04. und 24.04.2008.

Siehe auch Bild 7.7.

sta = Standardabweichung, v = Geschwindigkeit, b = Beschleunigung

Tempo 50										
Abs Rtg Netz		Verkehrssituation	vReise	v _{st} stabw	vFahr mittel	vFahr stabw	vxb mittel	vxb stabw	Standanteil	Konstantfahrt
Abs 1 (Richtung 1)		HVS2	43,93	8,39	43,93	8,39	2,89	5,12	0,00%	51,36%
Abs 2 (Richtung 1)		HVS2	49,11	3,80	49,11	3,80	-0,75	2,48	0,00%	89,57%
Abs 3 (Richtung 1)		HVS2	45,00	8,12	45,00	8,12	-2,03	3,55	0,00%	73,06%
Abs 4 (Richtung 1)		Kern	20,19	18,12	30,19	13,84	-0,73	4,85	33,33%	20,22%
Abs 5 (Richtung 1)		HVS4	33,31	14,91	36,84	10,80	-1,48	6,97	9,63%	44,63%
Abs 6 (Richtung 1)		HVS4	30,84	15,75	34,28	12,60	0,70	4,38	10,11%	45,36%
Abs 7 (Richtung 1)		HVS2	42,87	7,99	42,87	7,99	0,53	3,42	0,00%	76,43%
Abs 8 (Richtung 1)		HVS2	42,29	10,34	42,29	10,34	0,31	3,29	0,00%	78,96%
Abs 9 (Richtung 1)		Kern	21,01	19,32	32,64	14,25	-0,94	5,33	35,80%	24,01%
Abs 10 (Richtung 1)		HVS2 30	30,27	4,03	30,27	4,03	-0,61	4,81	0,00%	43,68%
Abs 11 (Richtung 1)		HVS2	41,33	3,58	41,33	3,58	1,13	2,86	0,00%	71,21%
Abs 12 (Richtung 1)		LSA3	24,75	16,44	32,13	10,66	-1,19	4,95	23,01%	29,29%
Abs 13 (Richtung 1)		LSA3	22,32	16,25	31,30	9,42	-3,11	7,03	28,80%	21,60%
Abs 14 (Richtung 1)		HVS2 30	32,58	10,93	32,72	10,77	2,88	5,03	0,46%	33,80%
Abs 15 (Richtung 1)		HVS2	42,04	7,21	42,04	7,21	-3,97	5,20	0,00%	65,31%
Abs 16 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	28,46	14,31	31,74	11,30	3,03	4,12	10,69%	23,90%
Abs 17 (Richtung 1)		HVS2 30	34,63	17,43	41,22	9,41	-0,82	2,81	16,04%	66,04%
Abs 18 (Richtung 1)		Kern+36% STGO	10,15	16,76	30,16	15,36	-0,55	3,23	66,47%	9,88%
Abs 19 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	26,15	10,00	26,39	9,76	-1,15	5,36	0,99%	43,56%
Abs 19 (Richtung 2)		Nebenstr. frei	28,17	7,12	28,17	7,12	-0,90	5,79	0,00%	28,13%
Abs 20 (Richtung 1)		Nebenstr. dicht	19,01	10,71	21,95	8,35	-0,47	3,79	13,73%	33,33%
Abs 21 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	26,81	3,43	26,81	3,43	-0,16	3,28	0,00%	54,72%
Abs 22 (Richtung 1)		Nebenstr. frei	29,68	4,16	29,68	4,16	-0,39	5,36	0,00%	35,56%
Abs 23 (Richtung 1)		Nebenstr. dicht	15,73	14,43	24,50	10,52	-0,74	3,80	36,03%	23,53%

Tab. 5.3 : Statistische Kenngrößen und abgeleitete Verkehrssituationen für die Fahrten am 05.05. und 06.05.2008.

Siehe auch Bild 7.7.

sta = Standardabweichung, v = Geschwindigkeit, b = Beschleunigung

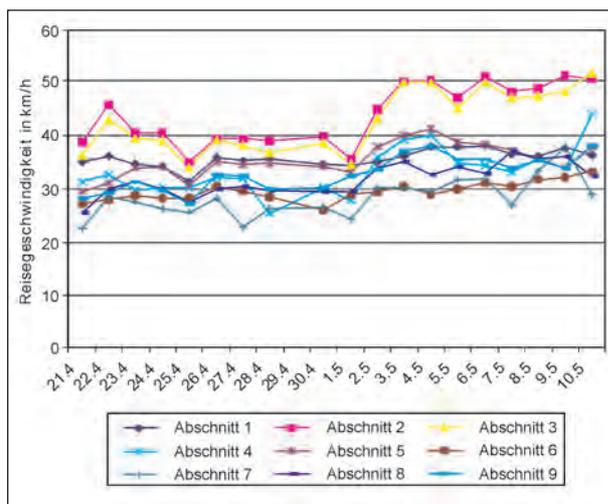


Bild 5.11: Entwicklung der Reisegeschwindigkeiten des SNIF-FER auf der Merseburger Straße

5.3 Befolgungsgrad der Geschwindigkeitsbeschränkung

Die Ergebnisse der Radarkontrollen durch das Ordnungsamt der Stadt Halle zeigt Tabelle 5.4.

Also 12 % bis 19 % der kontrollierten Fahrzeuge fahren somit schneller als 41 km/h. Der Anteil an Fahrzeugen, die schneller als 30 km/h fahren, lag an den Werktagen, an denen die Radarkontrollen durchgeführt worden sind sowie an denen der Fahrzeugteilnehmer mit Radarkontrollen rechnen musste, bei ca. 80 % bis 85 %, sonst bei über 90 % (Bild 5.12). Dies entspricht den Ergebnissen aus Kuratorium für Verkehrssicherheit (2004, siehe Bild 3.2). Aus Bild 5.12 (Montag und Dienstag der ersten Messwoche) lässt sich auch ableiten, dass allein

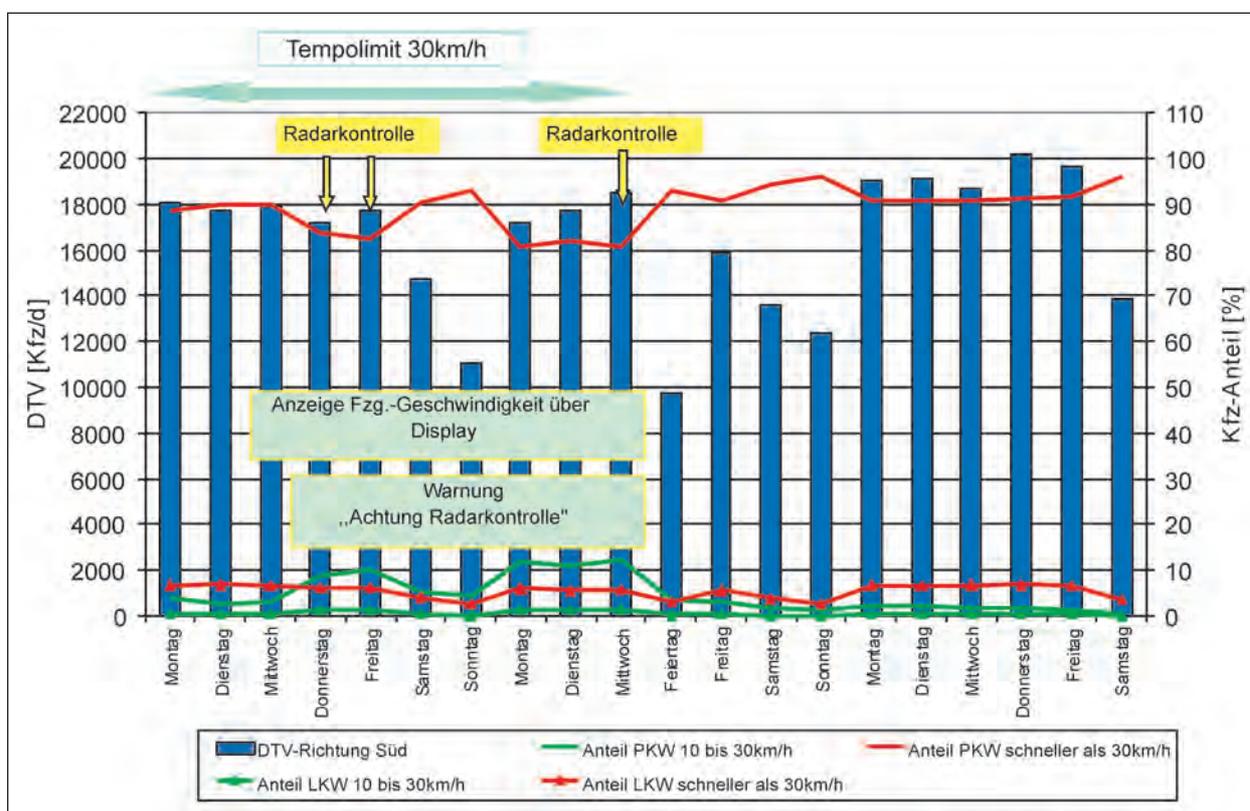


Bild 5.12: Verkehrsmengen, Lkw-Anteile sowie Anteile der Pkw- und Lkw am DTV in den Geschwindigkeitsklassen 10 bis 30 km/h und größer 30 km/h an der Zählstation HEVC (Verkehr stadtauswärts)

Tag	Zeit/Richtung	Anzahl Fahrzeuge (gesamt)	Anzahl Fahrzeuge mit Geschwindigkeitsüberschreitung (ausgelöst wurde bei 41 km/h)	Anteil Fahrzeuge mit Geschwindigkeitsüberschreitung
24.04.08	08:00 – 10:15 Uhr (SE)	1 754	327	19 %
25.04.08	07:58 – 10:22 Uhr (SE)	1 175	195	17 %
	14:58 – 16:34 Uhr (SA)	1 457	175	12 %
30.04.08	10:01 – 12:52 Uhr (SA)	2 442	391	16 %
	15:22 – 17:56 Uhr (SE)	1 682	268	16 %

Tab. 5.4: Ergebnisse der Radarkontrollen. SE = stadteinwärts; SA = stadtauswärts

die Aufstellung eines Tempo 30-Schildes ohne Geschwindigkeitskontrolle auf einer Hauptverkehrsstraße wie der Merseburger Straße keinen nachweisbaren verkehrlichen Effekt hat. Auch die zusätzliche Inbetriebnahme des Geschwindigkeitsdisplays (Mittwoch) änderte daran nichts.

Erst die angekündigten und durchgeführten Radarkontrollen führten zu nachweisbaren Konsequenzen im Fahrverhalten. Am Wochenende und an Feiertagen war die Geschwindigkeitsbeschränkung weitgehend wirkungslos.

5.4 Meteorologische Bedingungen im Messzeitraum

Die ersten drei Tage des Untersuchungszeitraumes (21.04. – 23.04.2008) waren geprägt von einem deutlichen Tiefdruckeinfluss im größten Teil Mitteleuropas und einem Hoch über dem Nordmeer und Fennoskandien. Das Untersuchungsgebiet liegt in dieser Zeit im Grenzbereich der beiden Druckgebiete. Dies hat zur Folge, dass am 21. und 22. April die größten Windgeschwindigkeiten im gesamten Untersuchungszeitraum erreicht wurden (Bild 5.13). Des Weiteren sind diese Tage überwiegend heiter mit nur sehr geringen Niederschlägen (Bild 5.14), welche sich in der Summe auf etwa 3 mm belaufen. Die Tageshöchsttemperaturen liegen dementsprechend relativ konstant um die 15 °C, die Tagesmitteltemperaturen um 12 °C (Bild 5.15).

Im Folgenden verlagerte sich der Tiefdrucktrog weiter in Richtung Osten und das Hochdruckgebiet im Norden baute sich ab. Über Südeuropa konnte der Luftdruck steigen und auch in mitteleuropäischen Breiten kam es zu einer Druckerhöhung und damit zur Ausbildung einer Hochdruckbrücke. Das Wetter

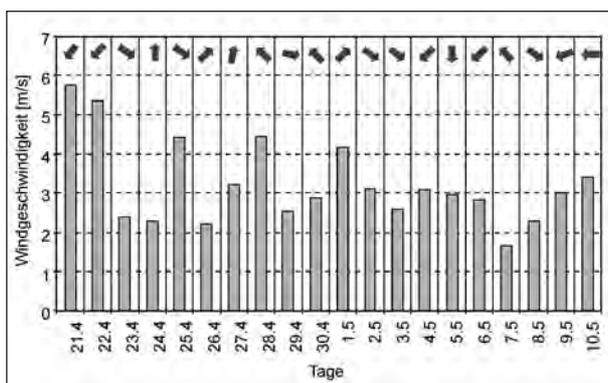


Bild 5.13: Tagesmittlere Windgeschwindigkeit und häufigste Windrichtung in Halle im Untersuchungszeitraum

der Tage vom 24. April bis zum 27. April 2008 ist von diesem Hoch bestimmt, mit Ausnahme des 25. April. An diesem Tag zieht eine Okklusion von Westen nach Osten, die Niederschlag mit sich führt. Die Intensität ist jedoch gering. Dies hat auch Auswirkungen auf die Temperatur, welche im Vergleich zum 24.04.08 im Durchschnitt um 2 °C fällt. Auch der Wind frischt am 25.04.08 wieder auf und weht aus nordwestlicher Richtung. Die anderen Tage sind dagegen gekennzeichnet durch steigende Temperaturen (Trend), keine Niederschläge und leichte Brisen aus südlicher Richtung.

Im weiteren Verlauf verlagert sich das Hoch in Richtung Skandinavien und ein Tief etabliert sich über den Britischen Inseln. Der 28.04.08 zeichnet sich noch durch die höchste Tagestemperatur im gesamten Untersuchungszeitraum aus (Tageshöchsttemperatur 24 °C), jedoch wird der aus Westen kommende Tiefausläufer spürbar. In der Nacht erreicht er das Untersuchungsgebiet und verlässt es auch am Folgetag nicht mehr. Bis zum Nachmittag des 29. April 2008 fielen insgesamt ca. 42 mm Regen, was rund 81 % des gesamten Niederschlages in dem Zeitraum ausmacht. Ab etwa 15:00 Uhr

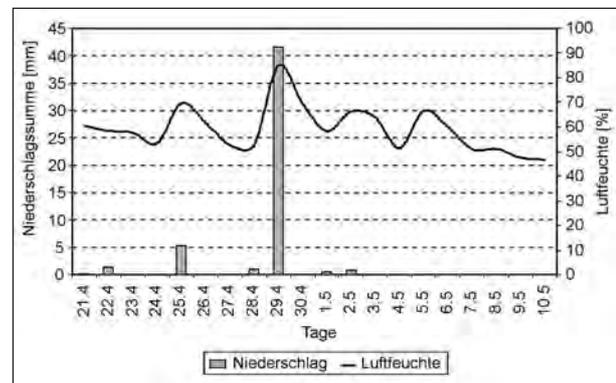


Bild 5.14: Tagesmittlere Luftfeuchtigkeit und tägliche Niederschlagssumme in Halle im Untersuchungszeitraum

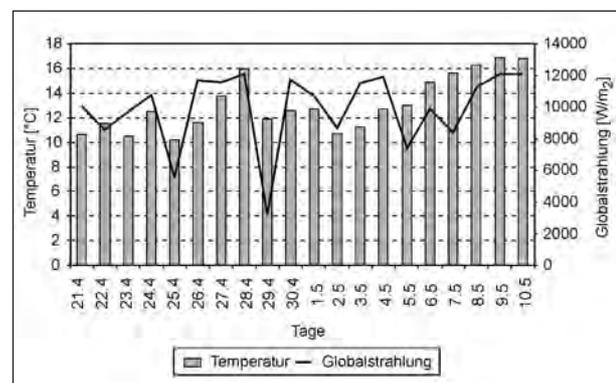


Bild 5.15: Tagesmitteltemperatur und Summe der Globalstrahlung pro Tag in Halle während der Messkampagne

des 29.04.08 begann sich der Himmel wieder zu klären und so gestaltete sich der 30.04.08 heiter und ohne Regen. Am ersten und zweiten Mai 2008 zeigten sich noch einmal die letzten Tiefdruckeinflüsse. Die Bedeckung nahm zu und es kam auch zu geringen Regenschauern, vor allem in der Nacht des 1. und am Abend des 2. Mai 2008. Der Wind frische am 1. Mai aus südwestlicher Richtung wieder auf. Ab dem 2. Mai schwächt sich das Tief über den Britischen Inseln ab und es kommt wieder zu einem Druckanstieg über Mitteleuropa, dieser wird überprägt durch einen Höhenrücken, der vom Atlantik her herangetragen wird. In den Tagen vom 3. Mai bis 6. Mai ist das Wetter antizyklonal geprägt und wird anschließend von einer Hochdrucklage über Mitteleuropa und Skandinavien abgelöst. Demnach fällt in diesen Tagen kein Regen. Die Temperaturen steigen von Tag zu Tag kontinuierlich an. Grundsätzlich ist es heiter, nur der 5. und der 7. Mai weisen leichte Bewölkung auf. Der Wind weht leicht böig aus unterschiedlichen Richtungen.

5.5 Auswertung der Konzentrations- und Emissionsdaten

Im Folgenden werden die Daten der stationären Messungen und die des SNIFFER-Fahrzeuges ausgewertet. Aus den Ergebnissen der verkehrlichen Analysen und denen der meteorologischen Analysen heraus wird der Schwerpunkt auf dem Vergleich der Situation in der letzten Woche (keine verkehrsberuhigenden Maßnahmen) mit den Tagen, an den die verkehrsberuhigenden Maßnahmen verkehrliche Wirkungen zeigten, gelegt.

Um vergleichbare Datensätze zu haben, werden jeweils die Werktage getrennt von den Wochenenden ausgewertet. Da Freitag, der 25. April 2008, im Gegensatz zu den anderen Werktagen der ersten und der letzten Woche durch relevante Regenmengen (5 mm) und sehr hohe Luftfeuchtigkeit gekennzeichnet war, wurde dieser bei der Betrachtung ausgeschlossen. Am 29.04.2008 konnte wegen Dauerregens nicht gemessen werden. Am 21. und 22.04.08 waren entsprechend den Auswertungen der TU Dresden die Einflüsse der Geschwindigkeitsbeschränkung nur gering. Es werden deshalb zusätzlich zu den Werktagen der ersten Woche noch die Werte der Tage 23.04 (Mittwoch), 24.04.08 (Donnerstag), 28.04.08 (Montag) und 30.04.08 (Mittwoch) bezüglich der Wirkung der verkehrsberuhigenden Maßnahmen analysiert.

5.5.1 Stationäre Messungen

Die PM₁₀- und NO_x-Tagesmittelwerte im Untersuchungszeitraum sind in Bild 5.16 dargestellt. Die Daten des Messbusses (blauer Teil der Balken) liefern hierbei das Konzentrationsniveau des lokalen Hintergrundes. Aus der Differenz aus den Messdaten des Containers an der Merseburger Straße und denen des Messbusses kann die lokale verkehrsbedingte Zusatzbelastung (roter Teil der Balken) abgeschätzt werden.

Die PM₁₀-Tagesmittelwerte am Messbus variieren zwischen 7 µg/m³ (am 1. Mai 2008) und 23 µg/m³ (am 24. April 2008). Im Mittel des Messzeitraumes liegen sie bei 15 µg/m³. Dies ist im Mittel 3 µg/m³ (ca. 20 %) niedriger als an der Messstation Halle-Ost (städtische Hintergrundstation). Die PM₁₀-Tagesmittelwerte an der Messstelle Merseburger Straße variieren zwischen 10 µg/m³ (am 1. Mai 2008) und 39 µg/m³ (am 24. April 2008). Im Mittel liegen sie bei 22 µg/m³.

Die verkehrsbedingte Zusatzbelastung variiert zwischen 2 µg/m³ (2. Mai 2008) und 16 µg/m³ (24. April 2008). Im Mittel liegt sie bei 7 µg/m³ und damit bei ca. 32 % der PM₁₀-Gesamtbelastung.

Die NO_x-Tagesmittelwerte am Messbus variieren zwischen 8 µg/m³ (am 1. Mai 2008) und 53 µg/m³ (am 24. April und 6. Mai). Im Mittel des Messzeitraumes liegen sie bei 27 µg/m³.

Dies ist im Mittel 5 µg/m³ (ca. 20 %) höher als an der Messstation Halle-Ost (städtische Hintergrundstation).

Die NO_x-Tagesmittelwerte an der Messstelle Merseburger Straße variieren zwischen 23 µg/m³ (am 1. Mai 2008) und 160 µg/m³ (am 24. April und 6. Mai 2008). Im Mittel liegen sie bei 64 µg/m³. Die verkehrsbedingte Zusatzbelastung kann durch die Differenz aus den Messdaten des Containers an der Merseburger Straße und denen des Messbusses abgeschätzt werden. Diese variiert zwischen 14 µg/m³ (22. April 2008) und 78 µg/m³ (24. April und 6. Mai 2008). Im Mittel liegt sie bei 37 µg/m³ und damit bei ca. 58 % der NO_x-Gesamtbelastung.

Die Mittelwerte der Verkehrsmengen und der Konzentrationen an den verschiedenen Messstellen sind differenziert für die beiden zu vergleichenden Situationen in Tabelle 5.5 zusammengefasst. Hierzu kann Folgendes gesagt werden:

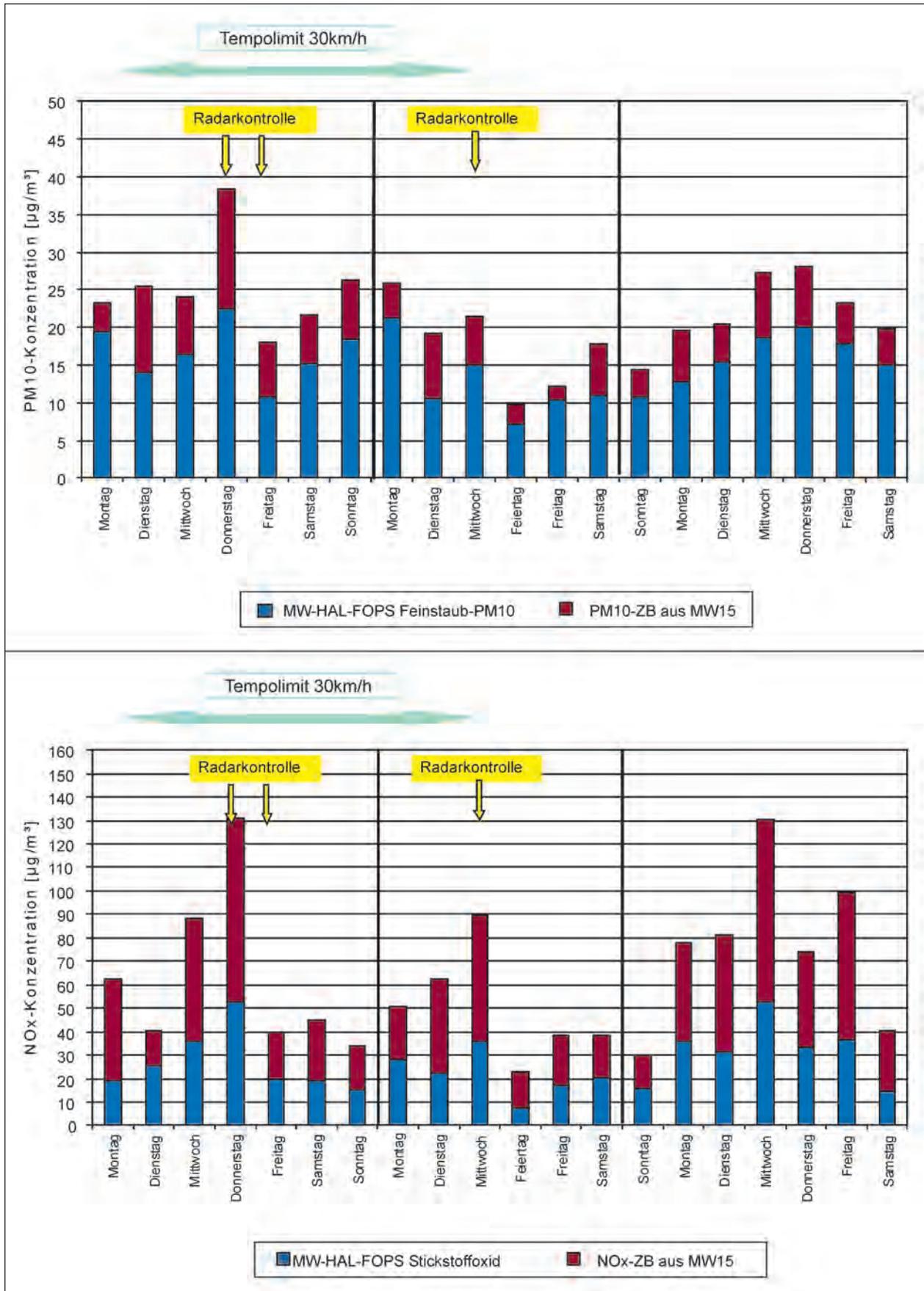


Bild 5.16: PM10- (oben) und NO_x-Tagesmittelwerte (unten) im lokalen Hintergrund (blau) und am Messcontainer in der Merseburger Straße (Gesamtwert)

Zeitraum (21.04.2008-27.04.2008); mit verkehrsberuhigenden Maßnahmen			
Merseburger Straße	Wochenmittel	Mo – Do	Samstag/Sonntag
DTV [Kfz/d]	-	31 700	-
SV [SV/d]	-	1 700	-
SV [%]	-	5.3	-
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	25	28 (28)	24
PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	18.0	19.5 (19.0)	18.0
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	63	80 (90)	39
PM10-ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	8	10 (9)	7
PM2.5-ZB* [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1.0	1.5 (2.0)	1.0
NO _x -ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	36	46 (52)	21
Messbus			
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	17	18 (19)	17
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27	34 (38)	18
Halle-Ost			
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	22	22 (22)	22
PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	17.0	18.0 (17.0)	17.0
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	20	22 (28)	17
Zeitraum (03.05.2008 – 10.05.2008); ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen			
Merseburger Straße	Wochenmittel	Mo – Do	Samstag/Sonntag
DTV [Kfz/d]	-	33 900	-
SV [SV/d]	-	2 470	-
SV [%]	-	7.5	-
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	21	24	17
PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	14	15.5	11.5
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	71	91	35
PM10-ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	6	7	4
PM2.5-ZB* [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1.0	1.0	0.5
NO _x -ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	41	53	20
Messbus			
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	15	17	13
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30	38	15
Halle-Ost			
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	18	20	15
PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	13.0	14.5	11.0
NO _x [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	25	32	12

Tab. 5.5: Statistische Kenngrößen für den jeweiligen Zeitraum. Die Mittelwerte beziehen sich jeweils auf das insgesamt zur Verfügung stehende Datenkollektiv der jeweiligen Messgröße. Werte in Klammern: Mittelwerte 23.04., 24.04., 28.04. und 30.04.2008

* unter Zugrundelegung der Werte von Halle-Ost

- Die werktägliche Verkehrsmenge lag in der letzten Messwoche um ca. 7 % höher, die Schwerkverkehrsmenge um ca. 45 % höher als in der ersten Messwoche.
- Die mittlere NO_x-Konzentration lag an der Merseburger Straße in der letzten Messwoche ca. 12 % höher als in der ersten Woche.
- Die mittlere NO_x-Zusatzbelastung war um ca. 10 % höher. Dies korrespondiert mit der in der letzten Messwoche höheren Verkehrsmenge.
- Dagegen war die mittlere PM10-Konzentration an der Merseburger Straße in der letzten Messwoche ca. 12 % (Wochenmittel) bzw. 14 % (Werktagmittel) niedriger als in der ersten

Messwoche. Auch der abgeschätzte lokale PM10-Verkehrsbeitrag war in der letzten Woche geringer (ca. 30 %) als in der ersten Woche. Dies ist zumindestens verwunderlich, da insbesondere vom Schwerverkehr ein großer Einfluss auf die PM10-Emission erwartet wird. Auch wenn man die Station Halle-Ost als Hintergrundstation verwendet, ist die PM10-Zusatzbelastung in der letzten Messwoche geringer als in der ersten Messwoche.

- Auch die PM2.5-Konzentrationen nahmen ab, sowohl die Gesamtbelastung an der Merseburger Straße als auch der lokale Verkehrsanteil.

Die genannten Verhältnisse ändern sich nicht grundlegend, wenn man als Auswertetage mit verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen die o. g. anderen Werkstage nimmt. Einzig die NO_x-Belastungen erhöhen sich auf etwa die Werte, die in der letzten Messwoche vorliegen.

Erwähnt werden muss in diesem Zusammenhang die Unsicherheit bei der Bestimmung der Lkw-Zahlen in stadteinwärtiger Richtung. Wie schon erläutert, gibt es hier Zweifel an der Plausibilität der Messdaten der automatischen Verkehrszählung.

Die verkehrliche PM10-Zusatzbelastung an der Messstelle HEVC (Straßenrand) war im Tempo 30-Zeitraum somit höher als im Tempo 50-Zeitraum. Bei der NO_x-Zusatzbelastung war es umgekehrt. Wegen des kurzen Messzeitraumes dominieren hier meteorologische Einflüsse (insbesondere die unterschiedlichen Windverhältnisse in den Auswertzeiträumen).

5.5.2 SNIFFER-Messungen/Überblick

Die detaillierte Beschreibung der Datenaufbereitung, der Qualitätssicherung und der Aggregation der hoch aufgelösten Messdaten zu den Mittelwerten der Straßenabschnitte ist im Messbericht von ENVICON Oye (KUPIAINEN, 2008) nachzulesen. Im Folgenden werden die wesentlichsten Ergebnisse dargestellt und erläutert.

Zunächst werden für die beiden zu vergleichenden Situationen die von SNIFFER gemessenen Werktagswerte der Fahrzeuggeschwindigkeit, der NO_x-, PM10- und PM2.5-Konzentrationen sowie die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren für das gesamte befahrene Straßennetz visualisiert. Die Mittel-

werte wurden für die genannten Messtage jeweils über alle 4 Messzeiten (3, 7, 12 und 17 Uhr) gebildet. Die Bilder 5.17 bis 5.21 stellen diese Werte grafisch dar.

Fahrzeuggeschwindigkeit

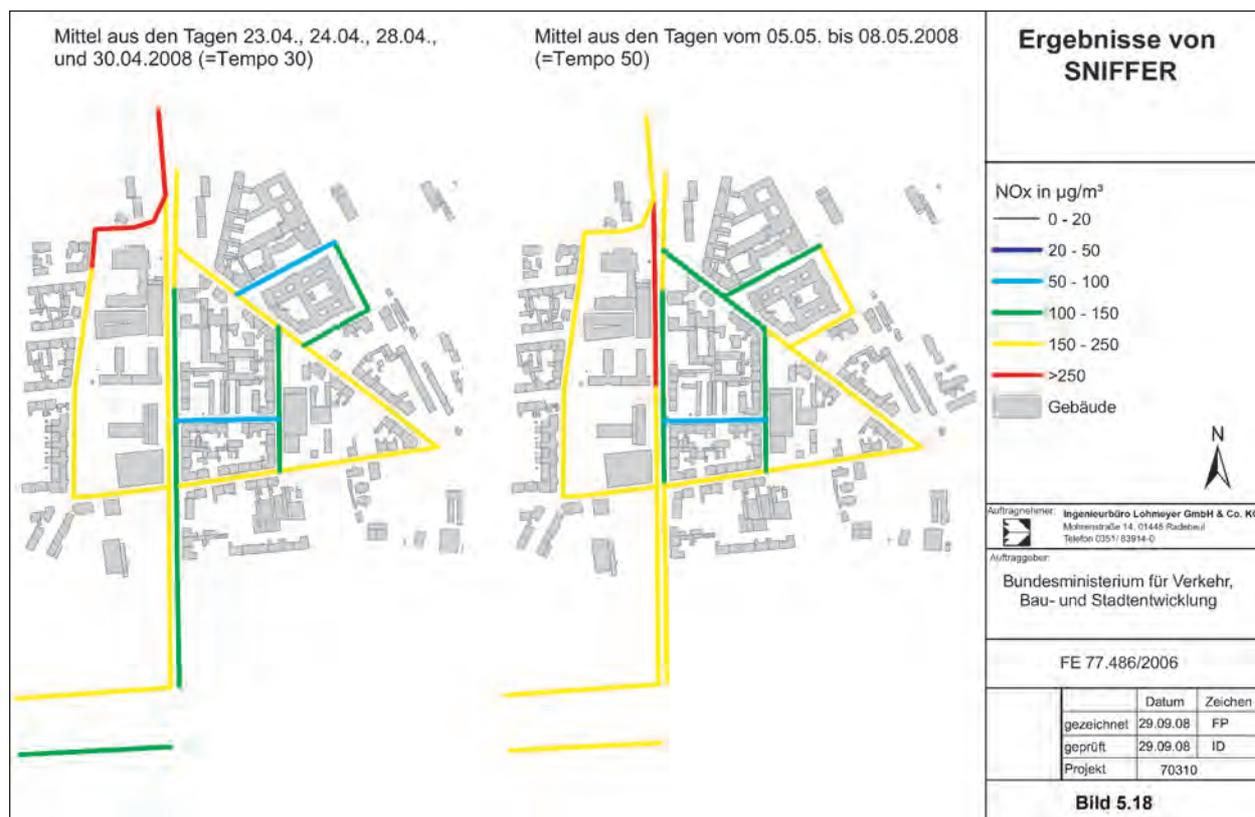
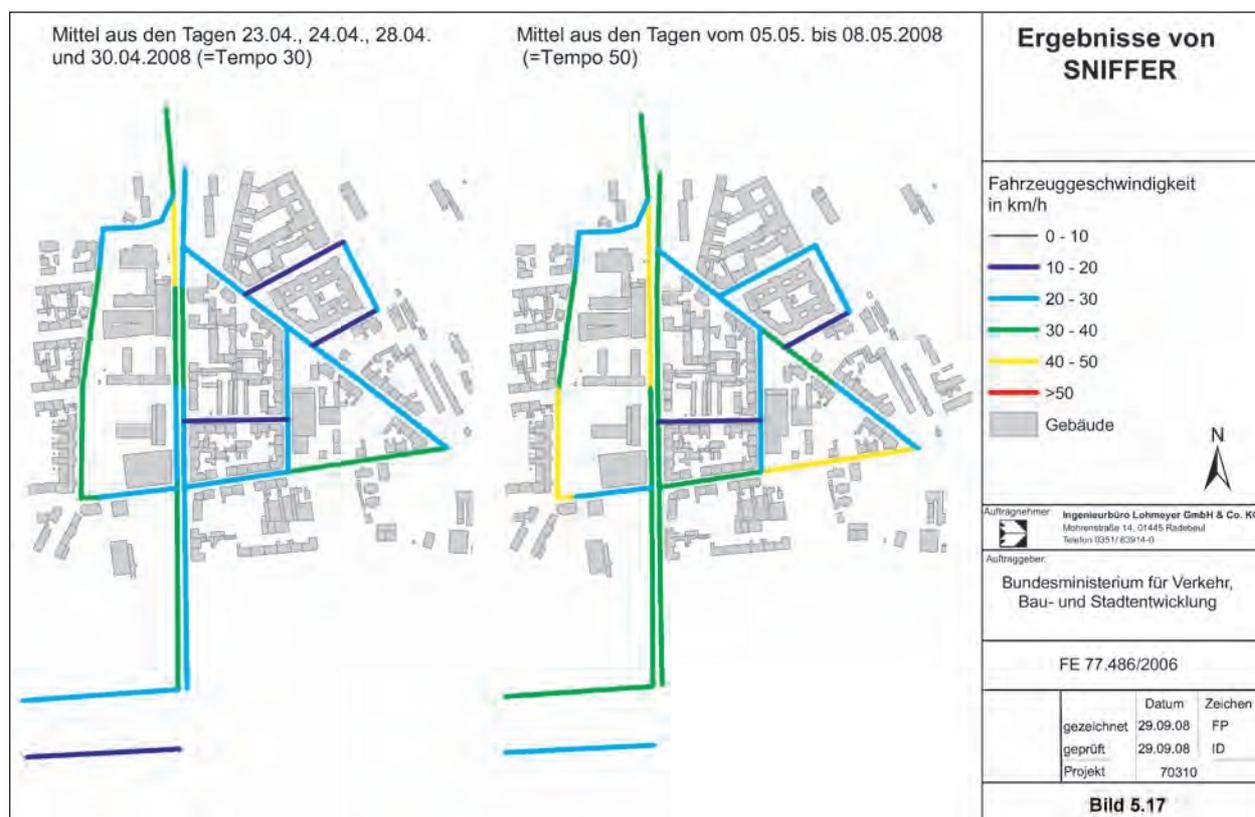
Die mittleren Geschwindigkeiten von SNIFFER sind in Bild 5.17 dargestellt. Die niedrigsten Geschwindigkeiten wurden hierbei im Nebenstraßennetz (z. B. Osendorfer Straße, Maybachstraße, Buddestraße) gefahren. Hier lagen die mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten in beiden Fällen bei kleiner 20 km/h.

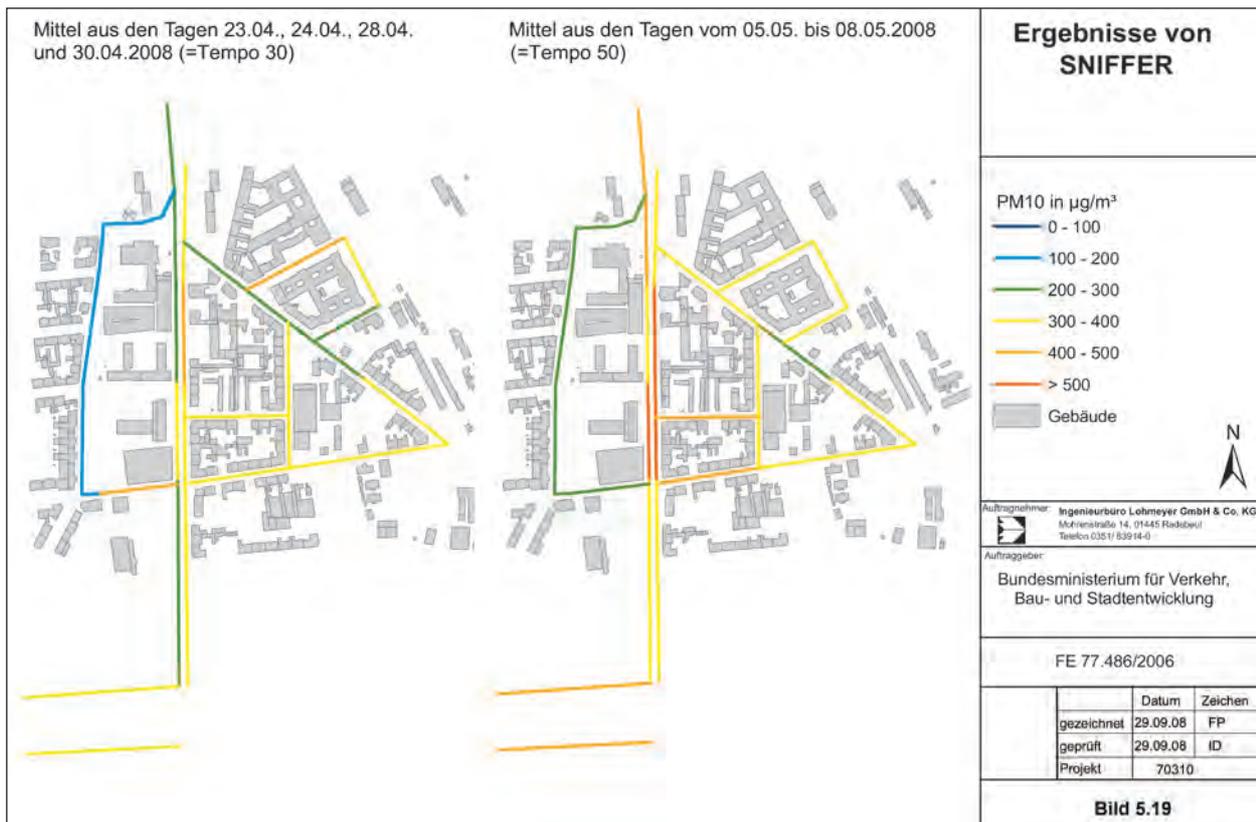
In der Merseburger Straße wurden je nach Straßenabschnitt mittlere Geschwindigkeiten zwischen 20 und 50 km/h (stadtauswärts) bzw. 20 und 40 km/h (stadteinwärts) gemessen. Der Abschnitt mit den höchsten Geschwindigkeiten war hier jeweils Abschnitt 2 (direkt vor der Messstelle). Die mittleren Geschwindigkeiten auf der Merseburger Straße waren nach Aufhebung der Tempo 30-Beschränkung höher als bei Tempo 30. Eine Erhöhung der Fahrzeuggeschwindigkeiten ist allerdings auch zum Teil an anderen Straßen festzustellen (z. B. Turmstraße, Raffineriestraße) (siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 5.2).

Konzentrationsdaten

Die von SNIFFER gemessenen NO_x-Konzentrationen sind in Bild 5.18 (links für Tempo 30 und rechts für Tempo 50) dargestellt (Hinweis: Dies sind Konzentrationsmittelwerte an der Front des Fahrzeuges in 2.4 m Höhe über der Fahrbahn und somit nicht direkt mit den Konzentrationen an den stationären Messstationen vergleichbar). Die niedrigsten NO_x-Konzentrationen wurden in der Osendorfer Straße gemessen. Dies ist plausibel, ist dieser Bereich doch nur gering von verkehrsbedingten Emissionen beeinflusst.

Die höchsten NO_x-Konzentrationen treten wie erwartet an der stark befahrenen Merseburger Straße und der Phillip-Müller-Straße auf. Die stadtauswärtige Fahrbahn der Merseburger Straße ist höher belastet als die stadteinwärtige. Dies korrespondiert mit den dort vorliegenden deutlich höheren Verkehrs- und Schwerverkehrsmengen teilweise verbunden mit dichter Randbebauung. In der Woche mit Tempo 50 liegen die NO_x-Konzentrationen auf einigen Abschnitten tendenziell höher als





an den Werktagen mit den verkehrsberuhigenden Maßnahmen².

Diese Tendenz ist bei vielen Straßenabschnitten auch bei den PM10-Konzentrationen (Bild 5.19) und PM1-2.5-Konzentrationen (Bild 5.20) festzustellen. Die höchsten PM10-Konzentrationen wurden hierbei mit verkehrsberuhigenden Maßnahmen am Abschnitt 8 (Merseburger Straße), Abschnitt 13 (Raffineriestraße) und Abschnitt 23 (Buddestraße) gemessen. In der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen lagen die PM10-Konzentrationschwerpunkte ebenfalls am Abschnitt 8 sowie den Abschnitten 4 und 7 (Kreuzungsbereich mit Raffineriestraße). Im Gegensatz zum NO_x weisen auch Nebenstraßen (wie z. B. Osendorfer- und Buddestraße) erhöhte PM2.5- und insbesondere PM10-Konzentrationen auf. Möglicherweise wird dies durch die dort vorliegenden Fahrbahnzustände (Kopfsteinpflaster) beeinflusst.

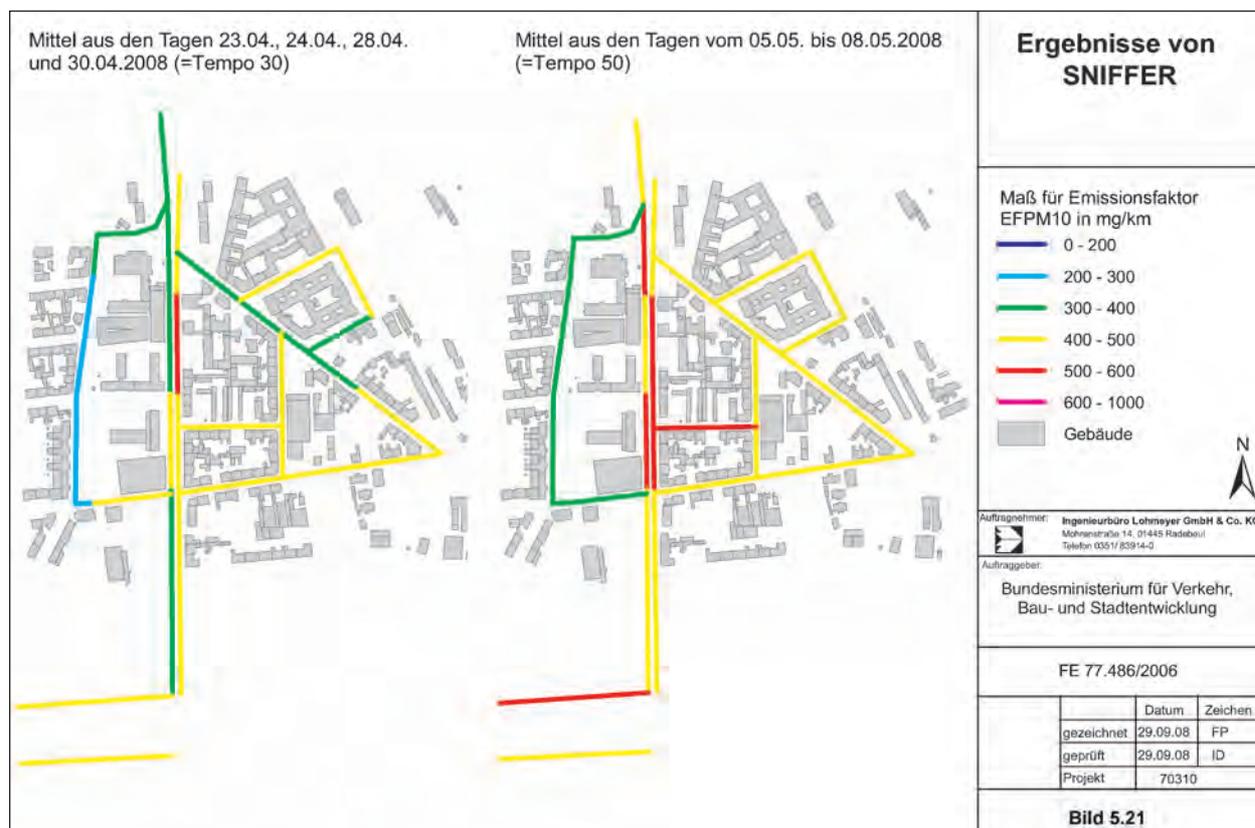
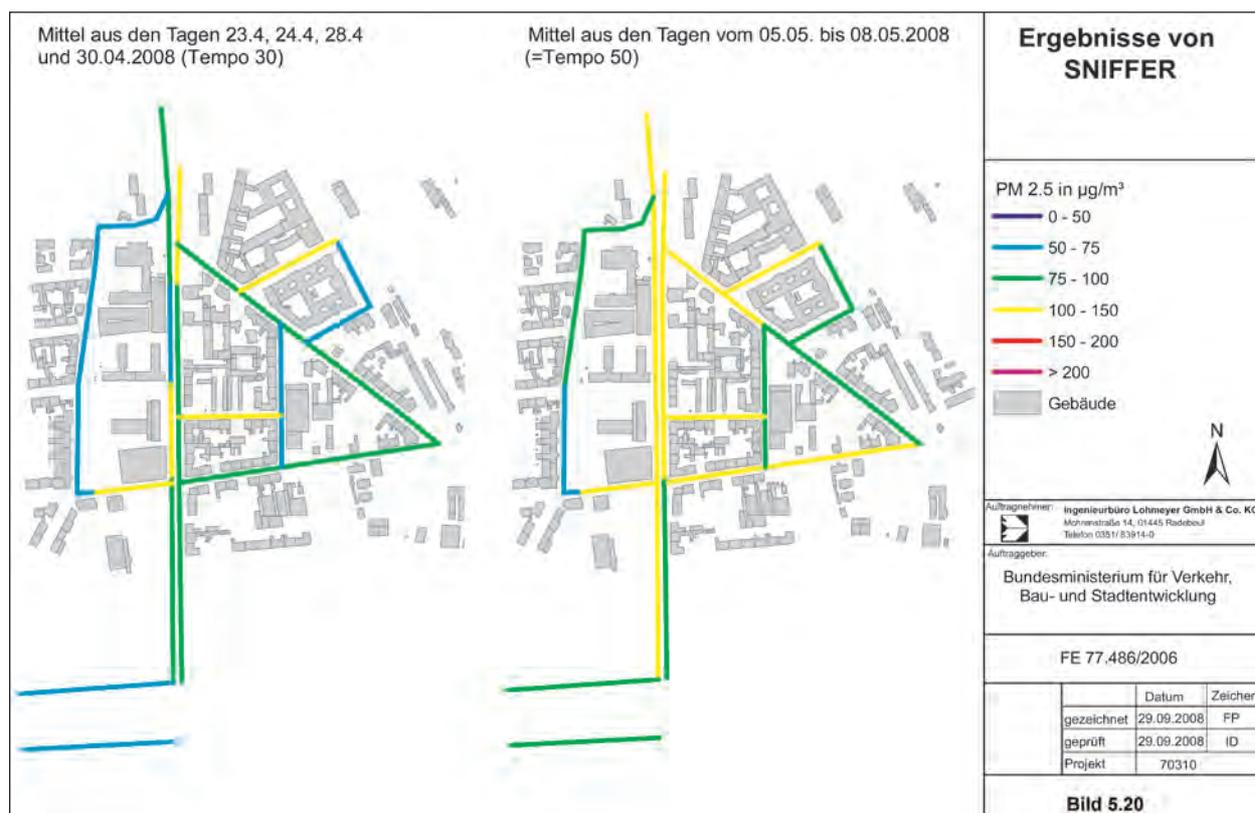
² Dargestellt sind hier die NO_x -Gesamtbelastungen. Die NO_x -Hintergrundbelastungen waren entsprechend Tabelle 5.5 mit $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in beiden Zeiträumen gleich. Auch die Hintergrundbelastung für PM10 und PM2.5 unterschied sich in beiden Zeiträumen nur um $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Deswegen wurde auf eine separate Auswertung der Zusatzbelastung verzichtet. Änderungen in den Konzentrationen zwischen Tempo 30- und Tempo 50-Zeitraum sind nicht durch die Änderung der Hintergrundbelastung verursacht.

Nicht motorbedingte PM10-Emissionen

Die aus den Messdaten von SNIFFER abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren des SNIFFER-Fahrzeuges (Bild 5.21) zeigen an vielen Stellen des Straßennetzes für die Werktage ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen höhere Werte als mit den Maßnahmen. Die Wegnahme der verkehrsberuhigenden Maßnahmen kann somit nicht allein die Ursache dieses Anstieges sein. Dies wird im Folgenden anhand von Detailauswertungen analysiert.

In Bild 5.22 wird der Mittelwert aller Messungen im 3-wöchigen Messzeitraum der PM10-Emissionsfaktoren gegeben. Die Straßenabschnitte mit den höchsten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sind die nördlich und östlich an die Kreuzung Merseburger Straße/Raffineriestraße angrenzenden Abschnitte, der mittlere stadteinwärtige Abschnitt der Merseburger Straße, die Osendorfer- und die Ernst-Kamieth-Straße.

Zur Plausibilisierung dieser Werte sei auf Folgendes hingewiesen: Auf den Straßenabschnitten direkt vor der Messstelle HEVC wurde durch die TU Dresden der Verkehrsfluss mit den Verkehrssituationen HVS2 (Abschnitt 2 und 3 sowie 8) bzw. Kern (Abschnitt 9) beschrieben. Für diese Verkehrssituationen gibt das derzeit verwendete PM10-Emiss-





<p>Maß für den Emissionsfaktor EFPM10 in mg/km</p> <ul style="list-style-type: none"> — 0 - 200 — 200 - 300 — 300 - 450 — 450 - 500 — > 500 Gebäude 	<h3>Ergebnisse von SNIFFER</h3> <p>Mittelwerte EFPM10 über gesamten Meßzeitraum</p>		<p>Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung</p>													
			<p>FE 77.486/2006</p>													
		<p>Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG Mohrenstraße 14, 01445 Radebeul Telefon 0351/ 83914-0</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Datum</th> <th>Zeichen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>gezeichnet</td> <td>19.09.08</td> <td>FP</td> </tr> <tr> <td>geprüft</td> <td>19.09.08</td> <td>ID</td> </tr> <tr> <td>Projekt</td> <td colspan="2">70310</td> </tr> </tbody> </table>			Datum	Zeichen	gezeichnet	19.09.08	FP	geprüft	19.09.08	ID	Projekt	70310
	Datum	Zeichen														
gezeichnet	19.09.08	FP														
geprüft	19.09.08	ID														
Projekt	70310															
			<p>Bild 5.22</p>													

sionsmodell für die nicht motorbedingten Emissionen für Lkw (SNIFFER fällt wegen seines Gewichts von mehr als 3.5 t in diese Kategorie) Emissionsfaktoren von 300 mg/km (HVS2) bzw. 800 mg/km (Kern). Die mit SNIFFER ermittelten PM10-Emissionsfaktoren im Mittel des gesamten Messzeitraumes liegen dort bei 400 mg/km (Abschnitt 2), 410 mg/km (Abschnitt 3) sowie 510 mg/km (Abschnitt 8) bzw. 430 mg/km (Abschnitt 9). Die Emissionsfaktoren des Emissionsmodells für HVS2 und die mit SNIFFER ermittelten sind somit gut vergleichbar. Der Emissionsfaktor für die Verkehrssituation „Kern“ liegt im Emissionsmodell ca. doppelt so hoch wie in der SNIFFER-Messung.

5.5.3 SNIFFER-Messungen/Detailauswertungen

In Bild 5.23 sind Scatterplots der PM10-Konzentrationen und in Bild 5.24 die der PM10-Emissionsfaktoren vergleichend für die Werkzeuge der ersten und letzten Messwoche dargestellt. Die Datenpaare wurden entsprechend den Tagen, Testzeiten und Straßenabschnitten gebildet. Zusätzlich werden in Bild 5.25 Boxplots der PM10-Konzentrationen und Emissionsfaktoren und in Bild 5.26 die der PM1-2.5- und NO_x-Konzentrationen gezeigt. Vergleichend werden hierbei die Straßenabschnitte der Merseburger Straße denen der anderen Straßenabschnitte gegenübergestellt. Die Annahme bei dieser Auswertung ist: Falls die verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf der Merseburger Straße dort

Veränderungen im Konzentrations- und Emissionsverhalten bewirkten, dann müssten sich diese Werte dort anders verhalten als in den restlichen Straßenabschnitten, die nicht von den Maßnahmen betroffen waren.

An den Werktagen variierten die mittleren Konzentrationsniveaus zwischen 310 und 430 µg/m³ (PM10-Konzentrationen), 400 bis 500 mg/km (SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren), 60 bis 100 µg/m³ (PM1-2.5-Konzentrationen) bzw. 140 bis 200 µg/m³ (NO_x-Konzentrationen). Die Variation zwischen den einzelnen Straßenabschnitten ist größer (siehe Bild 5.23 und 5.24).

In der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen (Week 2) liegen die Konzentrationen und die PM10-Emissionsfaktoren höher als in der Woche mit verkehrsberuhigenden Maßnahmen (Week 1). Dies betrifft alle Straßenabschnitte.

Die Straßenabschnitte 2, 3 (stadtauswärts) sowie 7, 8, 9 (stadteinwärts) der Merseburger Straße sind die Straßenabschnitte, auf denen die verkehrsberuhigenden Maßnahmen wegen des gleichmäßigen Verkehrsflusses am stärksten wirksam sein konnten. Die dort gemessenen Kenngrößen werden in Bild 5.25 (PM10) bzw. Bild 5.26 (PM1-2.5) mit den entsprechenden Werten ohne Maßnahmen verglichen.

Auch hier zeigen sich sowohl bei den Konzentrationen als auch bei den SNIFFER-Emissionsfaktoren in

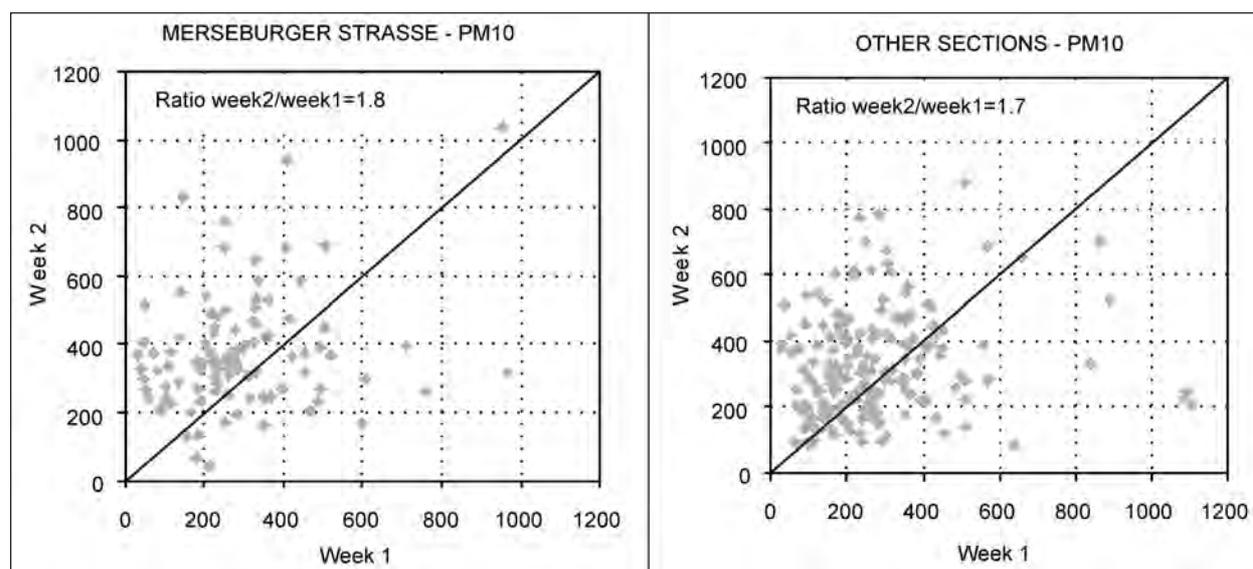


Bild 5.23: SNIFFER-PM10-Konzentrationen an der Merseburger Straße (links) und an den anderen Straßen (rechts) während der ersten Messwoche (Week 1 = 21.-24.04.08) und der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen (Week 2 = 05.-08.05.08). Werte in µg/m³

der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen höhere Werte als an den Werktagen in der ersten Woche mit Maßnahmen. Dass dies wahrscheinlich nicht allein auf diese Maßnahmen zurückzuführen

ren ist, zeigt wiederum die Tatsache, dass auch auf den Straßenabschnitten, die nicht von den Maßnahmen betroffen waren, dieses Verhältnis beobachtet wird.

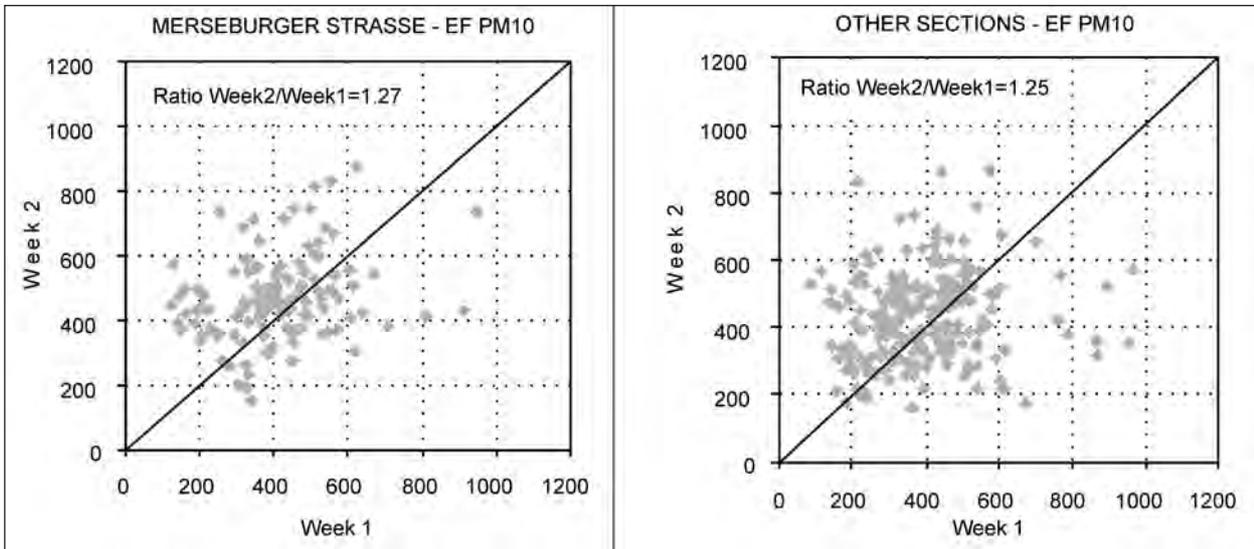


Bild 5.24: SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren an der Merseburger Straße (links) und an den anderen Straßen (rechts) während der ersten Messwoche (Week 1 = 21.-24.04.08) und der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen (Week 2 = 05.-08.05.08). Werte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

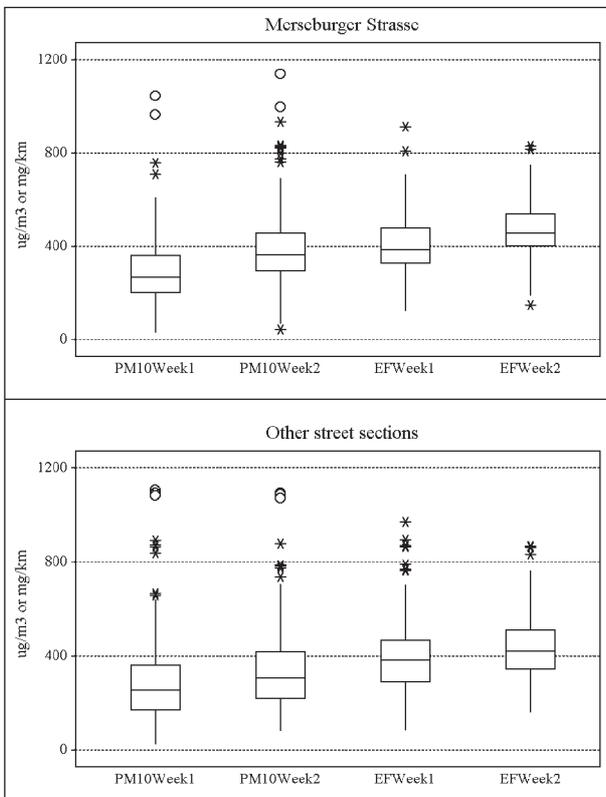


Bild 5.25: Box-Plots der SNIFFER-PM10-Konzentrationen und -Emissionsfaktoren an der Merseburger Straße (oben) und an den anderen Straßen (unten) während der ersten Messwoche (Week 1 = 21.-24.04.08) und der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen (Week 2 = 05.-08.05.08)

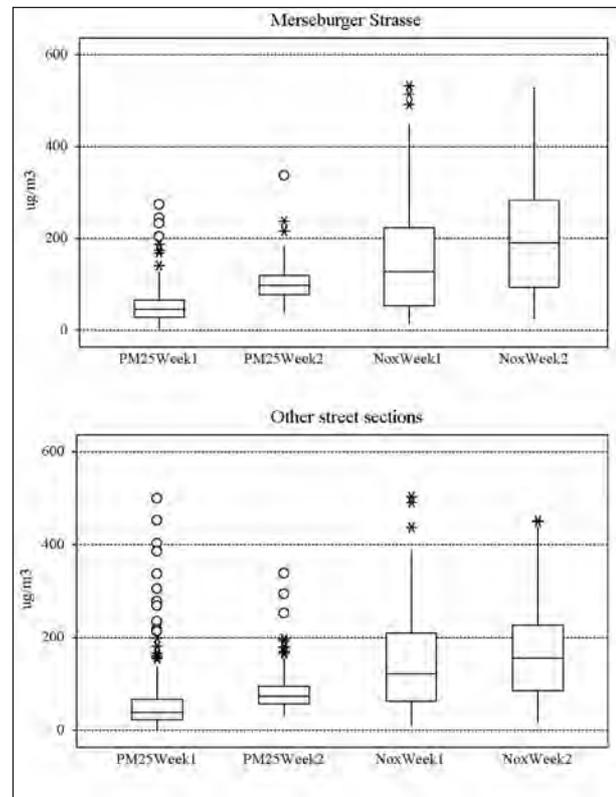


Bild 5.26: Box-Plots der PM1-2.5 und SNIFFER-NO_x-Konzentrationen an der Merseburger Straße (oben) und an den anderen Straßen (unten) während der ersten Messwoche (Week 1 = 21.-24.04.08) und der Woche ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen (Week 2 = 05.-08.05.08)

In den Bildern 5.27 und 5.28 wird der Fokus auf die Werkzeuge gelegt, an denen die Maßnahmen durch

die durchgeführten bzw. angekündigten Radarkontrollen nachweisbar Einfluss auf das Fahrverhalten

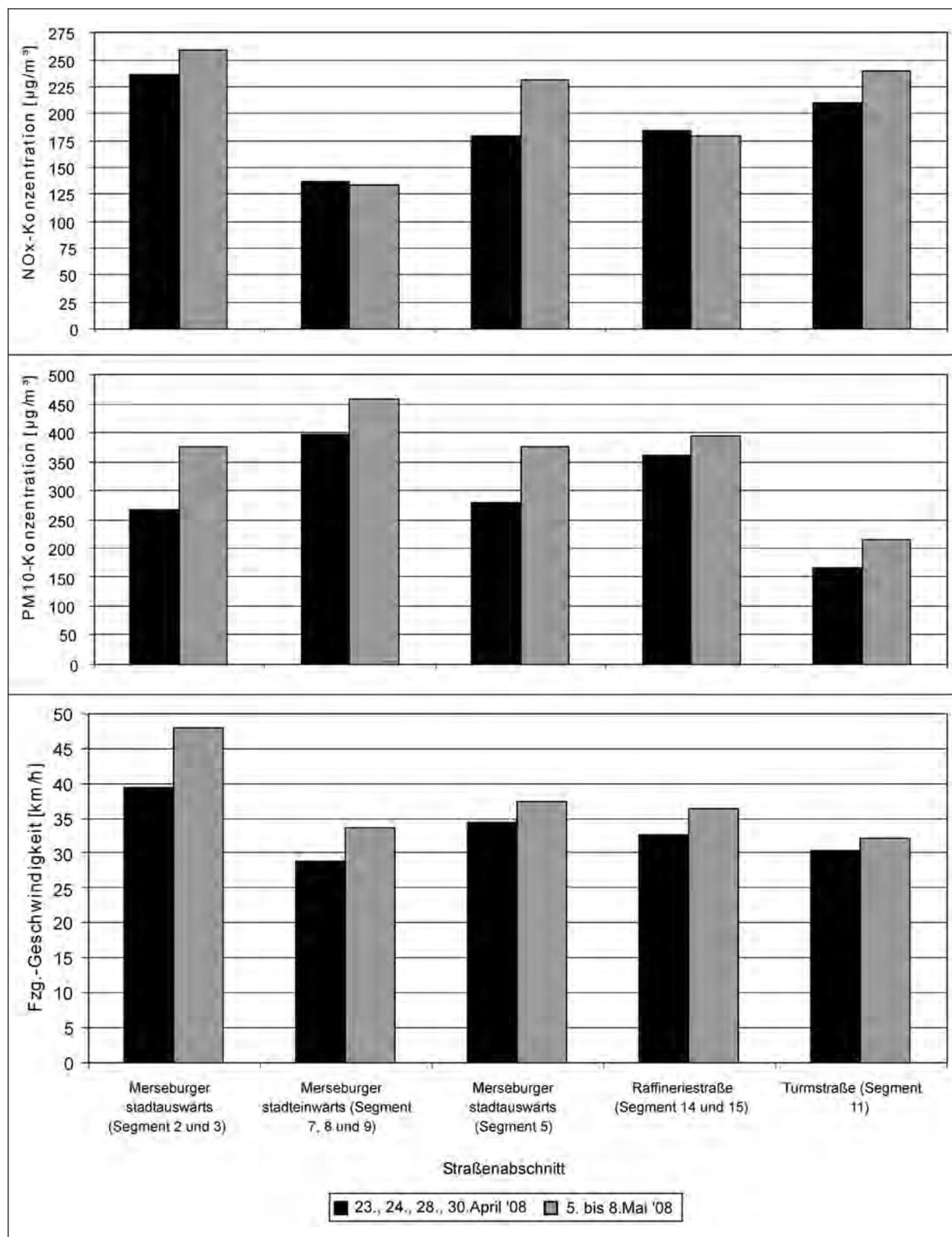


Bild 5.27: Mittelwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit sowie der PM10- und NO_x-Konzentrationen (Gesamtbelastung) für verschiedene Straßenabschnitte für die Werkzeuge mit (schwarzer Balken) bzw. ohne wirksame verkehrsberuhigende Maßnahmen (hellgrauer Balken). Zur Hintergrundbelastung siehe Fußnote 2

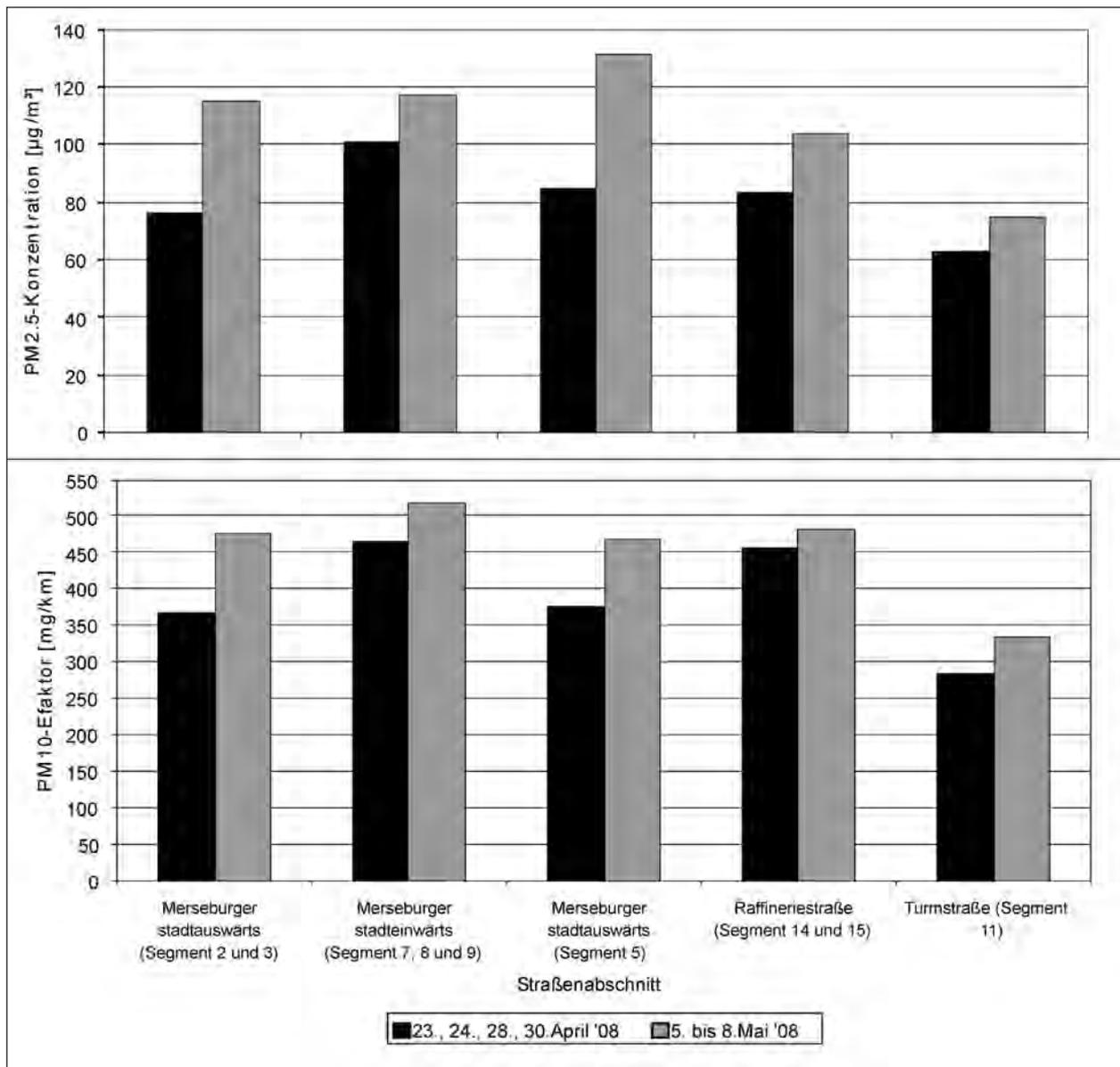


Bild 5.28: Mittelwerte der PM1-2.5-Konzentrationen (Gesamtbelastung) und der SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren für verschiedene Straßenabschnitte für die Werktage mit (schwarzer) bzw. ohne wirksame verkehrsberuhigende Maßnahmen (hellgrauer Balken). Zur Hintergrundbelastung siehe Fußnote 2

hatten. Der Vergleich dieser Tage mit den bereits diskutierten Tagen ohne Maßnahme zeigt Folgendes (siehe dazu auch Tabelle 5.6):

- In der von den Maßnahmen unbeeinflussten Raffineriestraße (Straßenabschnitte 14 und 15) sowie der Turmstraße (Abschnitt 11) unterscheiden sich die NO_x -Konzentrationen an den Werktagen ohne Maßnahmen nicht relevant von denen an den Werktagen mit Maßnahmen (Veränderung 0 bis 10 %). Am Straßenabschnitt 5 (ebenfalls nicht von den Maßnahmen beeinflusst) liegen die NO_x -Konzentrationen ohne Maßnahmen ca. 30 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. An den von den Maßnah-

men beeinflussten Abschnitten der Merseburger Straße unterscheiden sich die NO_x -Konzentrationen ebenfalls nur 10 % zwischen den Werktagen mit und ohne Maßnahmen (Veränderung 0 bis 10 %). Hieraus ergibt sich kein Hinweis auf einen relevanten Einfluss der verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die NO_x -Konzentrationen.

- In der von den Maßnahmen unbeeinflussten Raffineriestraße (Straßenabschnitte 14 und 15) sowie der Turmstraße (Abschnitt 11) sind die PM10-Konzentrationen an den Werktagen ohne Maßnahmen ca. 10 % bis 20 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Verände-

PM10-Konz. [$\mu\text{m}/\text{m}^3$]	PM10-2.5-Konz. [$\mu\text{m}/\text{m}^3$]	PM2.5-1-Konz. [$\mu\text{m}/\text{m}^3$]	PM10-Efaktor [mg/km]	NO _x -Konz. [$\mu\text{m}/\text{m}^3$]	Fzg.-Geschw. [km/h ³]	Straßenabschnitt
1.4	1.4	1.5	1.3	1.1	1.2	Merseburger stadtauswärts (Segment 2 und 3)
1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.2	Merseburger stadteinwärts (Segment 7, 8 und 9)
1.4	1.3	1.5	1.2	1.3	1.1	Merseburger stadtauswärts (Segment 5)
1.1	1.0	1.3	1.1	1.0	1.1	Raffineriestraße (Segment 14 und 15)
1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	Turmstraße (Segment 11)

Tab. 5.6: Quotient aus den Mittelwerten der Kenngrößen der Werktage ohne verkehrsberuhigende Maßnahmen (05.05. bis 08.05.08) und der Werktage mit wirksamen verkehrsberuhigenden Maßnahmen (23.04., 24.04., 28.04. und 30.04.08)

lung ist dort ca. 10 % bis 20 % höher als beim NO_x. Am Straßenabschnitt 5 (ebenfalls nicht von den Maßnahmen beeinflusst) sind die PM10-Konzentrationen ohne Maßnahmen 40 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist dort ca. 10 % höher als beim NO_x. An den von den Maßnahmen verkehrlich signifikant beeinflussten Abschnitten der Merseburger Straße (2, 3 sowie 7, 8, 9) liegen die PM10-Konzentrationen zwischen den Werktagen ohne Maßnahmen ca. 20 % bis 40 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist 20 % bis 30 % höher als beim NO_x. Auf den Abschnitten mit verkehrsberuhigenden Maßnahmen steigen die PM10-Konzentrationen relativ zum NO_x nach Wegnahme der Maßnahmen also ca. 10 % stärker an als an den anderen Straßenabschnitten.

- Der Anstieg der SNIFFER-Geschwindigkeiten lag auf den Straßenabschnitten mit Maßnahmen nach Wegfall dieser ca. 10 % höher als auf den anderen Abschnitten.
- In der von den Maßnahmen unbeeinflussten Raffineriestraße (Straßenabschnitte 14 und 15) sowie der Turmstraße (Abschnitt 11) liegen die PM1-2.5-Konzentrationen an den Werktagen ohne Maßnahmen ca. 20 % bis 30 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist dort ca. 10 bis 30 % höher als beim NO_x. Am Straßenabschnitt 5 (ebenfalls nicht von den Maßnahmen beeinflusst) liegen die PM1-2.5-Konzentrationen ohne Maßnahmen ca. 50 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist dort ca. 20 %

höher als beim NO_x. An den von den Maßnahmen beeinflussten Abschnitten der Merseburger Straße liegen die PM1-2.5-Konzentrationen ca. 20 bis 50 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist dort ca. 20 bis 40 % höher als beim NO_x.

- In der von den Maßnahmen unbeeinflussten Raffineriestraße (Straßenabschnitte 14 und 15) sowie der Turmstraße (Abschnitt 11) liegen die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren an den Werktagen ohne Maßnahmen ca. 10 % bis 20 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist dort ca. 10 % höher als bei NO_x-Konzentrationen. Am Straßenabschnitt 5 (ebenfalls nicht von den Maßnahmen beeinflusst) liegen die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren ohne Maßnahmen ca. 20 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Allerdings lagen hier auch die NO_x-Konzentrationen 30 % höher als an den Werktagen ohne Maßnahme (Veränderung zum NO_x somit 10 %). An den von den Maßnahmen beeinflussten Abschnitten der Merseburger Straße lagen die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren ca. 10 bis 30 % höher als an den Werktagen mit Maßnahmen. Diese Veränderung ist dort ca. 10 bis 20 % höher als bei NO_x-Konzentrationen. Die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren scheinen nach Wegnahme der Maßnahme somit insbesondere auf den Abschnitten 2 und 3 der Merseburger Straße relativ zu NO_x stärker zu steigen als auf den anderen Abschnitten.

Im Folgenden werden die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren mit den zugehörigen mittleren Fahr-

zeuggeschwindigkeiten korreliert. Dies wird für Straßenabschnitte gemacht, auf denen ein sehr hoher Konstantfahranteil anzutreffen war. Bild 5.29

(oben) zeigt als Ergebnis, dass es für die Straßenabschnitte 2 und 3 (Merseburger Straße stadtauswärts), direkt vor der Messstelle, eine statistische

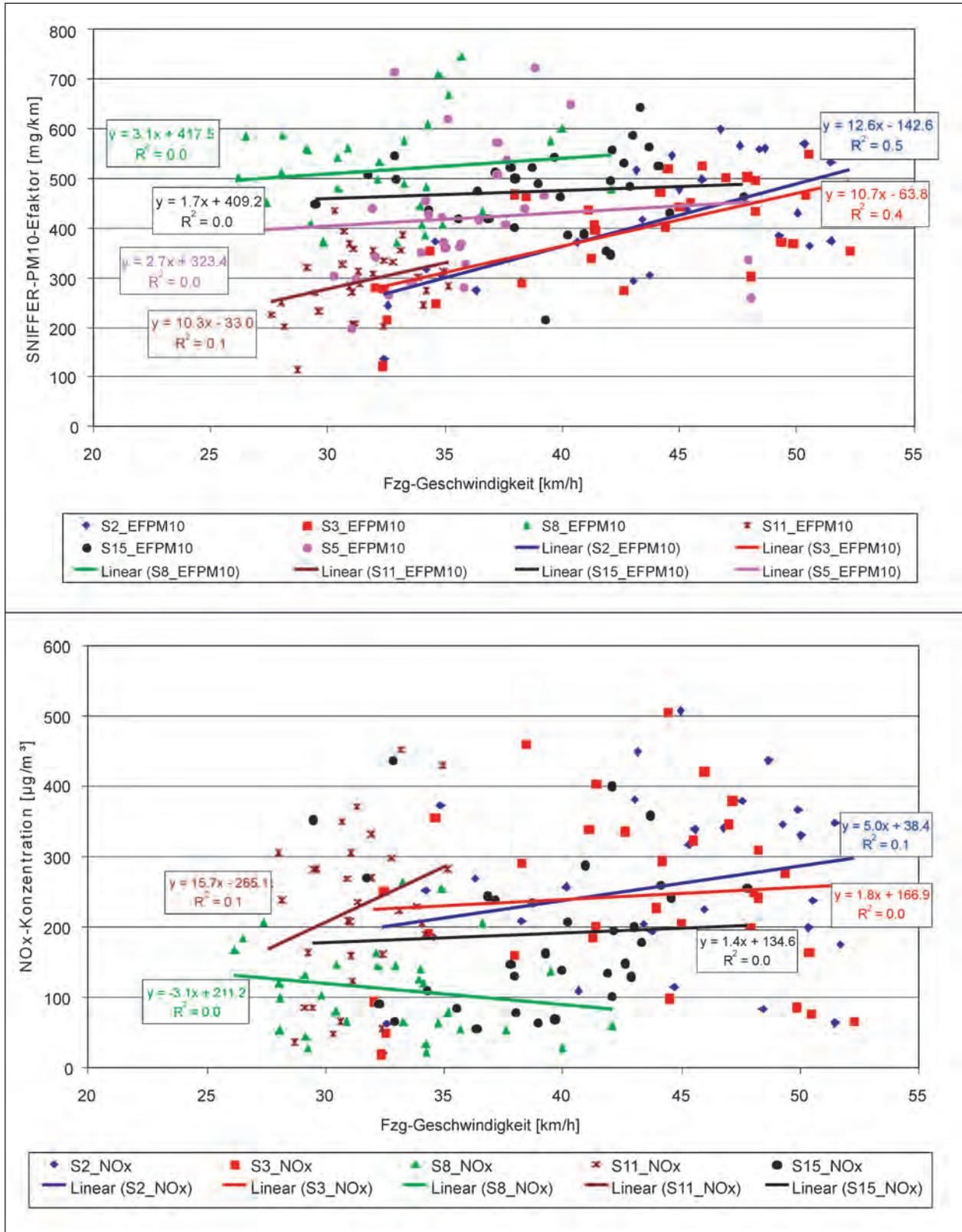


Bild 5.29: Zusammenhang zwischen SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor (oben) bzw. NO_x-Konzentration (unten) und der Fahrzeuggeschwindigkeit für die Werktage 23.04., 24.04., 28.04. und 30.04.2008 sowie 05. bis 08.05.2008

Signifikanz ($R^2 = \geq 0.4$) für eine lineare Korrelation zwischen SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor und Fahrzeuggeschwindigkeit gibt.

Diese Korrelation gibt für diese beiden Straßenabschnitte bei der durch die verkehrsberuhigenden Maßnahmen beobachteten Reduktion der Fahrzeuggeschwindigkeit um 8 km/h eine Reduktion der SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren von 20 % an. Dies entspricht der in Bild 5.27 (unten) beobachteten Abnahme zwischen dem Mittelwert mit und ohne Maßnahmen. Dies ist ein starkes Indiz dafür, dass für die Straßenabschnitte 2 und 3 an den Werktagen, an denen die verkehrsberuhigenden Maßnahmen eine verkehrliche Wirkung zeigten, eine Reduktion der nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionen um ca. 20 % zu verzeichnen war.

Aus den Korrelationsfunktionen lässt sich auch das maximale Emissionsminderungspotenzial abschätzen, wenn eine Einhaltung des Tempolimits von 30 km/h bei gleich bleibendem Verkehrsfluss erreichbar wäre. Dieses liegt bei ca. 40 bis 50 %.

Für die anderen Straßenabschnitte der Merseburger Straße (z. B. Abschnitte 5 und 8), aber auch für die Straßen des umliegenden Straßennetzes kann eine Korrelation zwischen SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor und Fahrzeuggeschwindigkeit nicht beobachtet werden. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass die Veränderungen von anderen Effekten überlagert werden. So liegen auf diesen Abschnitten niedrigere Konstantfahrtanteile als an den Abschnitten 2 und 3 vor (siehe z. B. Tabelle 5.2 und 5.3), sodass dort wahrscheinlich Veränderungen im Verkehrsfluss eine stärkere Rolle spielen.

Die NO_x -Konzentrationen am SNIFFER-Fahrzeug zeigen keine Korrelation zur Fahrzeuggeschwindigkeit (Bild 5.29 unten). Hier dominieren neben den Emissionen insbesondere meteorologische Einflüsse bei der Schadstoffausbreitung im Straßenraum. Weiterhin weist dies darauf hin, dass die bei den PM10-Emissionsfaktoren gefundene Abhängigkeit von den Fahrzeuggeschwindigkeiten nicht zufällig dadurch zustande kommt, weil in der dritten Messwoche (bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten)

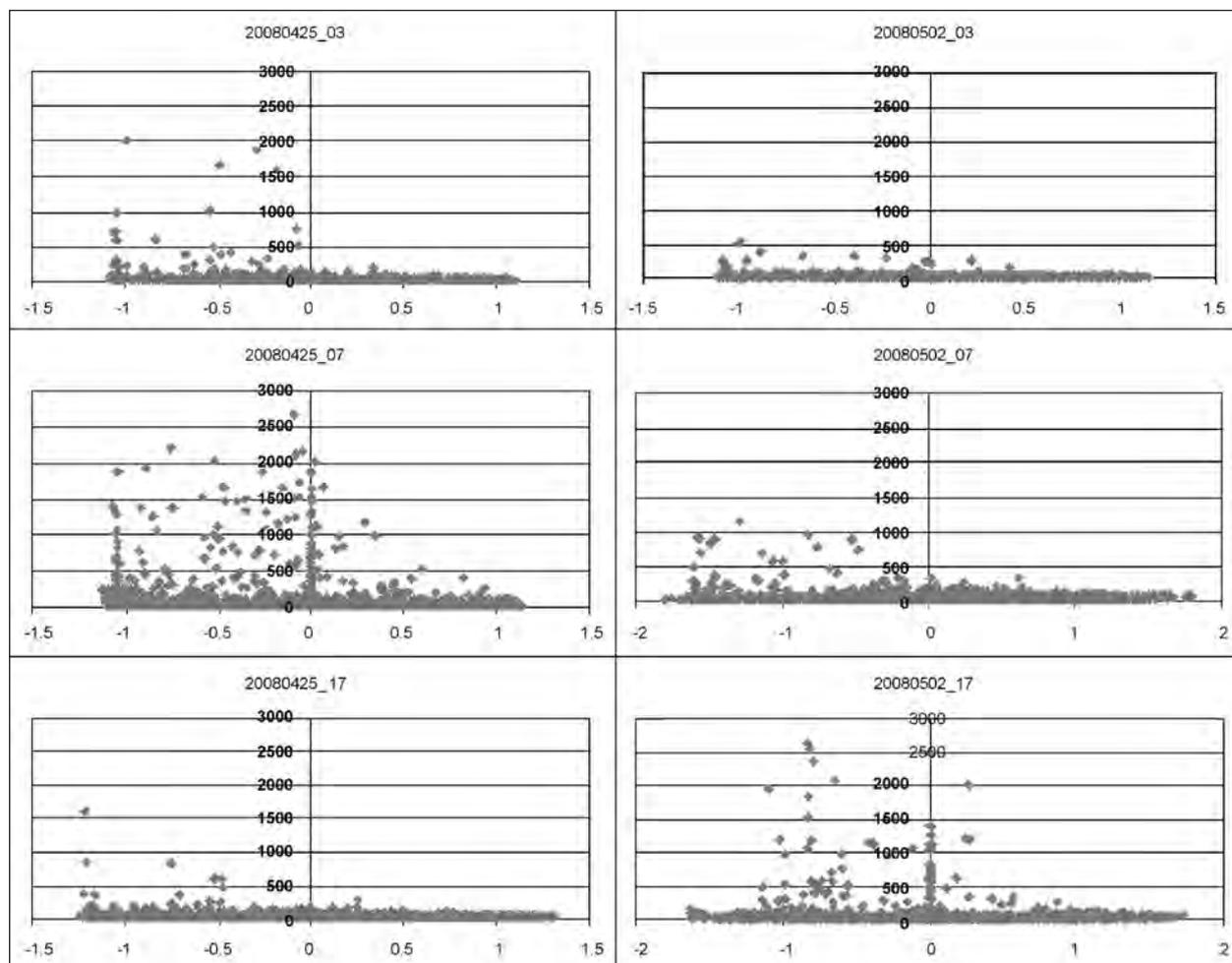


Bild 5.30: Beschleunigung (m/s^2 , x-Achse) und SNIFFER-PM1-2.5-Konzentrationen (2 Sekundenmittelwerte) ($\mu\text{g/m}^3$, y-Achse)

höhere Konzentrationen als im Vergleichszeitraum auftraten.

Während der Analyse der PM10- und PM1-2.5-Konzentrationsdaten wurde festgestellt, dass in bestimmten Fällen in den zeitlich hoch aufgelösten

Messdaten (2-Sekunden-Mittelung) sehr hohe PM1-2.5-Konzentrationen gemessen wurden. Um die Ursachen zu ermitteln, wurden diese Konzentrationsdaten mit den Beschleunigungswerten von SNIFFER (berechnet aus den GPS- und den entsprechenden Geschwindigkeitsdaten) korreliert.

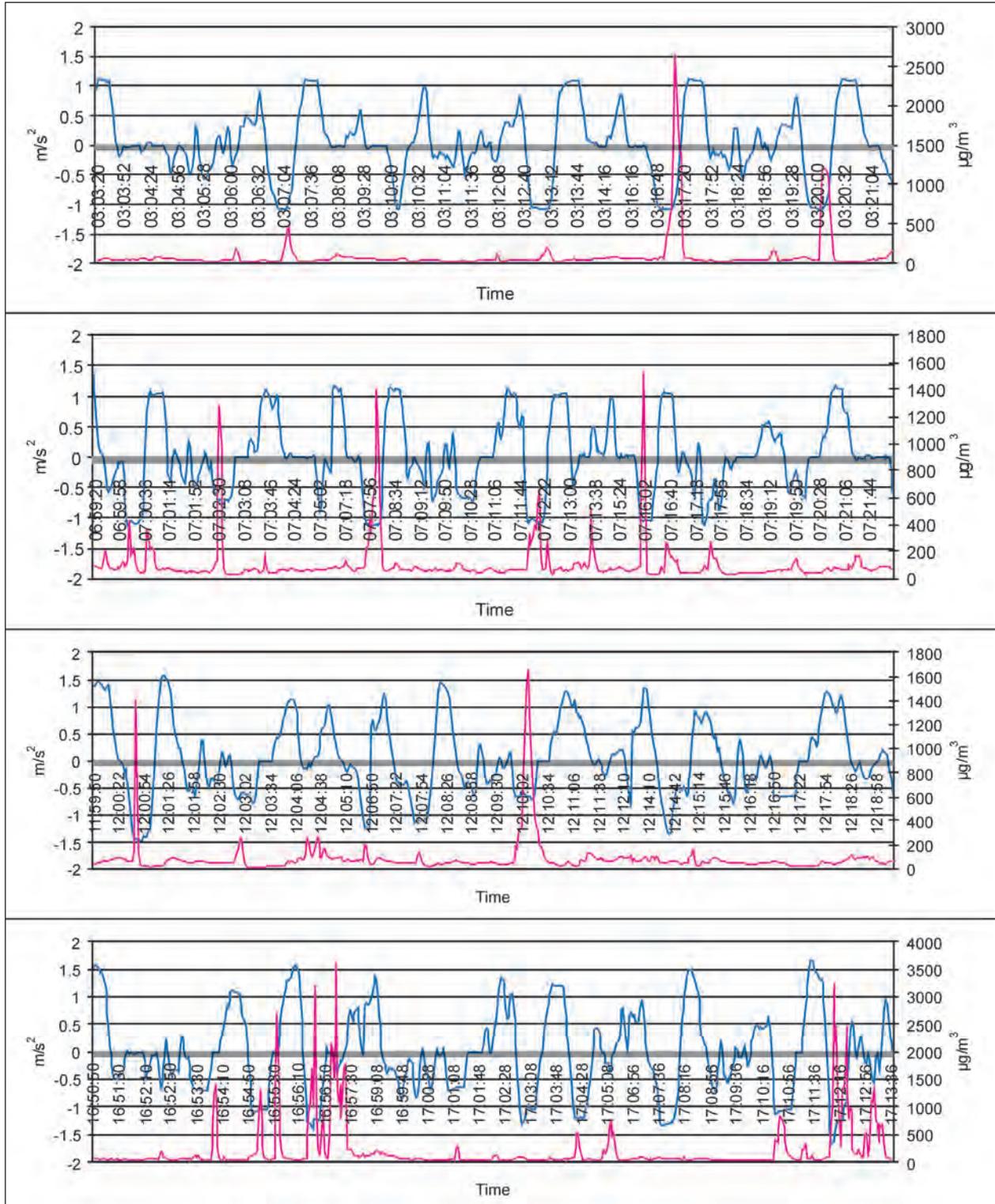


Bild 5.31: SNIFFER-PM1-2.5-Konzentrationen (pink) sowie Beschleunigung (blau) als eine Funktion der Zeit im Bereich der Mercedesburger Straße

Dabei konnte festgestellt werden, dass diese sehr hohen Werte häufig mit negativen Beschleunigungswerten (Bremsvorgänge) verbunden waren (siehe Beispiele in Bild 5.30).

Bild 5.31 zeigt, wie die PM1-2.5-Konzentrationspitzen am 24. April (trockener Tag) bei den Messfahrten um 3, 7, 12 und 17 Uhr relativ zu den Beschleunigungsvorgängen positioniert sind. Die befahrene Strecke umfasst im Wesentlichen die Merseburger Straße. Diese Abbildungen veranschaulichen, dass die Konzentrationsspitzen mit Bremsvorgängen korreliert sind. Es treten allerdings nicht bei allen Bremsvorgängen Konzentrationsspitzen auf.

Möglicherweise ist dies ein Hinweis auf Partikelemissionen, die durch Bremsprozesse induziert sind. Ein eindeutiger Nachweis konnte im Rahmen der hier durchgeführten Auswertungen nicht geführt werden.

6 Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Messungen bzgl. Wirkung der verkehrsberuhigenden Maßnahmen

Die Befahrungen und Analysen des Verkehrsflusses durch die TU Dresden zeigten im Nebennetz keine relevanten Unterschiede in den Fahrgeschwindigkeiten zwischen dem Tempo 30 und Tempo 50-Zeitraum.

Die Messungen auf der Hauptverkehrsstraße zeigten einen messbaren, aber geringen Einfluss des Tempo 30-Schildes auf die realisierten Geschwindigkeiten. Nach Wegfall der Tempo 30-Regelung erhöhten sich die Reisegeschwindigkeiten auf der Merseburger Straße um bis zu 8 km/h, im Mittel um ca. 4 km/h.

Dabei ist festzustellen, dass ein Teil dieser Geschwindigkeitsreduktion vor allem durch die angekündigten und durchgeführten Radarkontrollen, ein kleinerer Teil auch durch die Aufstellung der Displays zur Geschwindigkeitsanzeige bedingt waren. Die einzelnen Einflüsse von Display und Radar sind hier nicht quantifizierbar, liegen aber niedriger als z. B. in UBA (2007) ermittelt.

Allein die Aufstellung eines Tempo 30-Schildes auf einer Hauptverkehrsstraße wie der Merseburger Straße (vierspurig, Straßenbahn auf eigenem

Gleisbett in Mittellage) hat offenbar nur einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf die Reisegeschwindigkeiten.

Der Anteil an Pkw, die schneller als 30 km/h fuhren, lag an den Werktagen, an denen die Radarkontrollen durchgeführt worden sind sowie an denen der Fahrzeugteilnehmer mit Radarkontrollen rechnen musste, bei ca. 80 % bis 85 %, sonst bei über 90 %.

Stadtauswärts war ein etwas niedrigerer Anteil von Beschleunigungsvorgängen während der Tage mit verkehrsberuhigenden Maßnahmen zu verzeichnen. Stadteinwärts waren keine relevanten Unterschiede nachweisbar. Auf den freien Abschnitten vor der Messstelle wurden bei Tempo 30 die Verkehrssituationen „Hauptverkehrsstraße mit geringen Störungen, Tempo 30“ (HVS2_T30) und bei Tempo 50 „Hauptverkehrsstraße mit geringen Störungen“ (HVS2) ermittelt. Beide Verkehrssituationen unterscheiden sich im Prinzip nur durch die bei Tempo 30 geringere Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Standanteile und die Konstantfahrtanteile unterscheiden sich nur gering. Nur am Abschnitt 3 (mittlerer Abschnitt der Merseburger Straße stadtauswärts) wurde nach Aufhebung des Tempolimits (also bei Tempo 50) signifikant mehr und stärker gebremst.

Die verkehrliche PM10-Zusatzbelastung an der Messstelle HEVC (Straßenrand) war im Tempo 30-Zeitraum höher als im Tempo 50-Zeitraum. Bei der NO_x-Zusatzbelastung war es umgekehrt. Wegen des kurzen Messzeitraumes dominieren hier meteorologische Einflüsse (insbesondere die unterschiedlichen Windverhältnisse in den Auswertezitrräumen).

Die PM10- und NO_x-Konzentrationen am SNIFFER (auf der Straße) waren an den Werktagen im Tempo 30-Zeitraum niedriger oder gleich der im Tempo 50-Zeitraum. Dies betraf sowohl die Straßenabschnitte, an denen die Maßnahmen durchgeführt wurde, als auch die, die nicht davon betroffen waren.

Die Straßenabschnitte mit den höchsten (nicht motorbedingten) SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sind die nördlich und östlich an die Kreuzung Merseburger Straße/Raffineriestraße angrenzenden Abschnitte, der mittlere stadteinwärtige Abschnitt der Merseburger Straße, die Osendorfer- und die Ernst-Kamieth-Straße.

Auf den Straßenabschnitten direkt vor der Messstelle HEVC wurde durch die TU Dresden der Verkehrsfluss mit den Verkehrssituationen „HVS2“ (Ab-

schnitt 2 und 3 sowie 8) bzw. „Kern“ (Abschnitt 9) beschrieben. Für diese Verkehrssituationen gibt das derzeit verwendete PM10-Emissionsmodell für die nicht motorbedingten Emissionen für Lkw (SNIFFER fällt wegen seines Gewichts von mehr als 3.5 t in diese Kategorie) Emissionsfaktoren von 300 mg/km (HVS2) bzw. 800 mg/km (Kern). Die mit SNIFFER ermittelten PM10-Emissionsfaktoren im Mittel des gesamten Messzeitraumes liegen dort bei 400 mg/km (Abschnitt 2), 410 mg/km (Abschnitt 3) sowie 510 mg/km (Abschnitt 8) bzw. 430 mg/km (Abschnitt 9). Die Emissionsfaktoren des Emissionsmodells und die mit SNIFFER ermittelten für „HVS2“ sind somit gut vergleichbar. Der mit SNIFFER ermittelte PM10-Emissionsfaktor für die Verkehrssituation „Kern“ ist vergleichbar mit denen für die Verkehrssituationen „HVS2“ und liegt im Emissionsmodell ca. doppelt so hoch wie das Maß des Emissionsfaktors, welches die SNIFFER-Messung lieferte.

Die mit SNIFFER ermittelten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren zeigten für die Abschnitte der Merseburger Straße direkt vor der Messstelle, auf denen ein sehr hoher Konstantfahrtanteil vorlag, eine signifikante positive Korrelation zur Fahrzeuggeschwindigkeit. Daraus lässt sich eine Minderung der (nicht motorbedingten) SNIFFER-PM10-Emissionen von ca. 20 % für die Werktage mit wirksamen verkehrsberuhigenden Maßnahmen ableiten. Falls es gelingen würde, dass alle Fahrzeuge das Tempolimit von 30 km/h bei gleichem Verkehrsfluss einhalten würden, dann ergäbe sich aus den abgeleiteten Korrelationsfunktionen ein maximales Minderungspotenzial von ca. 40 % bis 50 %.

An Straßenabschnitten, an denen der Verkehrsfluss ungleichförmiger war, konnte keine solche Korrelation gefunden werden. Hier spielen wahrscheinlich andere Einflüsse (z. B. das Beschleunigungsverhalten) eine stärkere Rolle.

Bei Bremsvorgängen wurde häufig eine deutliche Zunahme der PM1-2.5-Konzentrationen bei SNIFFER festgestellt. Dies könnte auf Bremsabriebsmissionen hinweisen.

7 Einfluss der Verkehrssituationen sowie der Fahrbahneigenschaften auf die SNIFFER-Messdaten

7.1 Aufgabenstellung

In einem gerade abgeschlossenen Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (FE 02.265/2005/LRB) konnte anhand von drei Straßen aufgezeigt werden, dass dort die Verbesserung des Fahrbahnzustandes einen nachweisbar positiven Effekt auf die nicht motorbedingte PM10-Emission hatte. Die Bandbreiten waren aber groß und es wurden weitere Messungen empfohlen.

Das derzeitige PM10-Emissionsmodell (LOHMEYER, 2004a + b) zeigt für die nicht motorbedingten PM10-Emissionen eine starke Abhängigkeit von den Fahrbahneigenschaften auf. Die Emissionen auf Straßen mit schlechtem Straßenzustand werden mit einem Zuschlagfaktor von 3.6 belegt. Dieser Faktor ist sehr unsicher. Auf dem in Halle mit SNIFFER beprobten Straßennetz lagen unterschiedliche Fahrbahnmaterialien (Asphalt, Pflastersteine) sowie Fahrbahnzustände (sehr gut bis sehr schlecht) vor. Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen SNIFFER-PM10-Messdaten sollten deshalb bzgl. der Korrelation zu den Fahrbahneigenschaften ausgewertet werden.

Das derzeitige PM10-Emissionsmodell zeigt für die nicht motorbedingten PM10-Emissionen auch eine starke Abhängigkeit von den Verkehrssituationen. Die Ableitung dieser Emissionen erfolgte durch die Rückrechnung aus Immissionsdaten. Bei der Ableitung dieser Emissionsfaktoren lagen insbesondere für Straßen mit schlechtem Verkehrsfluss nur wenige Messungen vor. Für die Situationen IO_Kern sowie Nebenstraßen_dicht lagen keine Messwerte vor.

Die TU Dresden hatte in Halle die Verkehrssituationen messtechnisch erfasst. Auf dem beprobten Straßennetz lagen sehr unterschiedliche Verkehrssituationen vor, die auch die Situationen IO_Kern sowie Nebenstraßen_dicht umfassen. Die SNIFFER-Messdaten sollten deshalb auch bzgl. der Korrelation zu den Verkehrssituationen ausgewertet werden.

7.2 Analyse und Bewertung der Fahr- bahnoberflächen

7.2.1 Allgemeine Beschreibung der Straßenab- schnitte

Ein Lageplan des untersuchten Straßennetzes ist in Bild 4.6 gegeben. Im Folgenden sollen diese Straßenabschnitte kurz charakterisiert werden.

Überwiegend handelt es sich beim Fahrbahnbelag der Straßen im Untersuchungsgebiet um Asphalt. Dies umfasst insgesamt 21 der untersuchten 25 Straßenabschnitte. Die restlichen vier sind gepflastert. Die Oberflächenbeschaffenheit der angrenzenden Gehwege und die der Flächen für die parkenden Fahrzeuge sind unterschiedlicher Art und werden unten beschrieben.

Bei den nachfolgend beschriebenen Abschnitten handelt es sich um relativ neue und gut ausgebauten Straßen, die noch keine oder kaum sichtbare Verschleißerscheinungen aufweisen. Im Allgemeinen finden sich keine Flickstellen oder Spurrinnen. Wenn Risse vorkommen, sind sie meist klein und haben keine zusammenhängenden Netze ausgebildet. Was die Straßen allerdings unterscheidet, sind die angrenzenden Gehwege. Bei der Pfännerhöhe (siehe Bild 7.1) handelt es sich um eine Einbahnstraße mit asphaltierten Gehwegen im grundsätzlich guten Zustand. Jedoch treten in regelmäßigen Abständen Risse auf und auch ein durchgängiger Flickstreifen verläuft parallel zur Straße.

Dies trifft auch auf die Gehwege der anschließenden Raffineriestraße (Abschnitte 15 und 16) zu, wobei dort streckenweise gepflasterte Abschnitte

auftreten. Dieses Pflaster besteht ausschließlich aus Naturstein. Anders ist dies bei der Rudolf-Ernst-Weise-Straße (Abschnitte 17, 18, 19). Hier sind auch die Gehwege neu gestaltet und bestehen aus Betonpflaster mit anschließendem Basalt-pflaster für den Parkstreifen. Der Gehweg und die Parkbuchten befinden sich in einem guten Zustand.

Der Zustand der Bruckdorfer Straße (Abschnitt 19) kann im Allgemeinen auch noch als gut beschrieben werden. Jedoch weist sie an einigen Stellen, gerade im Randbereich der Gullys, schon stärkere Unebenheiten auf. Auch der Gehweg ist im Vergleich zu den oben genannten Straßen in einem deutlich schlechteren Zustand. Dieser besteht aus Beton und Pflastersteinen und zeigt deutliche Risse und Ausbrüche. Nur auf einer Straßenseite ist der Gehweg als solcher nutzbar. Der andere wird hauptsächlich als Parkplatz genutzt.

Die Ernst-Kamieth-Straße (Abschnitt 22) zeigt nur geringe Schäden an der Straßenoberfläche. Die Straßenmitte zeigt einen besseren Zustand als der Fahrbahnrand, der auf beiden Seiten als Parkfläche genutzt wird. Die Gehwege dagegen bestehen hier auf der einen Seite aus Beton und auf der anderen aus unverdichtetem Schotter. Hier parken auch häufig Busse.

Die Merseburger Straße (Abschnitte 1 bis 9, siehe z. B. Bild 7.2) ist ebenfalls asphaltiert. Anders als bei den obigen Straßen treten hier jedoch Abnutzungserscheinungen hervor. Diese äußern sich vor allem in allgemeinen Unebenheiten, wie leichten Bodenwellen und eingefahrenen Spurrinnen. Gerade am Fahrbahnrand und am Übergang zur Straßenbahntrasse treten verstärkt Netzrisse im Asphalt auf. Auch an Gullydeckeln oder Regenwas-



Bild 7.1: Blick in die Pfännerhöhe (Abschnitt 13). Zur Lage des Straßenabschnittes siehe Bild 4.6



Bild 7.2: Blick in die Merseburger Straße (Abschnitt 3). Zur Lage des Straßenabschnittes siehe Bild 4.6

serabläufen sind Risse und auch Abplatzungen zu erkennen. Besonders die Hauptfahrbahn und die Straßenabschnitte in Lichtsignalbereichen sind von diesen Schäden betroffen.

Der Gehwegsbelag wechselt entlang der Straßen häufig. Dabei ist der allgemeine Zustand des Gehweges in den Abschnitten 1 bis 5 etwas besser als auf der gegenüberliegenden Straßenseite (6 bis 9). Die asphaltierten Gehwegabschnitte (3, 4, 6, 9) zeigen vereinzelt größere Risse und Flickstellen, sind allerdings überwiegend unbeschädigt. Bei den anderen Abschnitten handelt es sich bei der Gehwegoberfläche überwiegend um Betonplatten als hauptsächlichen Gehwegbelag. Beim Abschnitt 1 sind die Schäden der Platten sehr gering. Eine weitere Besonderheit dieses Abschnittes ist, dass dem Gehweg eine Rasenfläche vorgelagert ist. Die restlichen Gehwegabschnitte lassen sich dahingehend charakterisieren, dass Betonplatten, welche häufig Risse und Aufplatzungen aufweisen, den Hauptgehweg bilden. In Richtung der Bebauung werden die Betonplatten dann durch Asphalt ersetzt, welcher stellenweise stark beschädigt ist oder sogar fehlt. Im Abschnitt 8 ist die Einfahrt zu einem dort befindlichen kleineren unbefestigten Parkplatz.

Den schlechtesten Zustand der Asphaltstraßen im Untersuchungsgebiet weist die Turmstraße (Abschnitte 10 bis 12) auf, wobei der Abschnitt 12 am stärksten betroffen ist (siehe Bild 7.3).

Kennzeichnend für diese Straßenabschnitte sind großflächig auftretende Rissfelder und das verstärkte Aufplatzen des Straßenbelags gerade an Kurven, bei Einmündungen anderer Straßen und am Fahrbahnrand. Auch allgemeine Unebenheiten, wie zum Beispiel Bodenwellen in der Fahrbahn, treten auf. Bei den Gehwegen zeigt sich ein anderes Bild. Die Gehwege im Abschnitt 12 sind auf beiden Straßenseiten asphaltiert und weisen keine weiteren Mängel auf, wogegen bei den anderen beiden Abschnitten nur eine Gehwegseite einen guten Zustand aufweist, die andere jedoch erhebliche Mängel zeigt. An der Turmstraße befinden sich auch etliche Parkflächen. Die außerhalb der Straße befindlichen sind zumeist Firmen- oder Einkaufsfilialstellplätze, die gepflastert sind oder aus Rasengittersteinen bestehen. Des Weiteren gibt es noch Stellplätze entlang der Straße, die dem Zustand der Straße entsprechen.

Die Osendorfer Straße (siehe Bild 7.4), die Heinrich-Schütz-Straße (Abschnitt 25), die Maybachstraße (Abschnitt 21) und die Buddestraße (Ab-

schnitt 23) sind gepflastert. Das Pflaster weist deutliche Dellen auf und gerade dort treten vermehrt offene Pflasterfugen auf. Beschädigt ist das Pflaster nur an wenigen Stellen, diese Straßen werden auch weniger befahren.

Bei allen, außer der Maybachstraße, wird der Fahrbahnrand als Parkfläche genutzt, wobei es in der Umgebung der Maybachstraße und Buddestraße auch weitere Parkmöglichkeiten gibt (Bahnhofsparkplatz in der Ernst-Kamith-Straße und angrenzend an die Maybachstraße einen Schotterparkplatz für Anlieger). Wie bei dem Fahrbahnbelag handelt es sich bei den Gehwegen der Maybachstraße, der Osendorferstraße und der Heinrich-Schütz-Straße um Naturpflaster, welches jedoch, teilweise an Einfahrten durch Betonplatten (Abschnitte 20, 21) oder Betonpflastersteine (Abschnitt 25) ersetzt wurde. Die Platten weisen häufig Mängel auf. Die Gehwege der Buddestraße sind auf beiden Seiten asphaltiert und es treten nur vereinzelt Unebenheiten und Flickstellen auf.



Bild 7.3: Blick in die Turmstraße (Abschnitt 12). Zur Lage des Straßenabschnittes siehe Bild 4.6



Bild 7.4: Blick in die Osendorfer Straße (Abschnitt 20). Zur Lage des Straßenabschnittes siehe Bild 4.6

7.2.2 Methodik zur Charakterisierung des Straßenzustandes im Sinne der nicht-motorbedingten PM10-Emission

Allgemeines

Messergebnisse in der Lützner Straße in Leipzig (LOHMEYER, 2001), einer Straße mit vielfach geflicktem, rissigem Asphaltbelag, zeigten ungewöhnlich hohe PM10-Emissionen, die vermutlich zum größten Teil dem Abrieb entstammen. Als Konsequenz aus diesen Untersuchungen beinhaltet das derzeit in Deutschland angewendete PM10-Emissionsmodell (LOHMEYER, 2004b) einen Parameter zur Unterscheidung des Straßenzustandes. Es gibt die Straßenzustandsklassen „gut“ und „schlecht“.

Um diese Einteilung möglichst zu objektivieren, wurde in LOHMEYER et al. (2003) ein Vorschlag zu einem Abfrage- und Bewertungsschema für die Straßenzustandsklasse vorgestellt. Dies wird im Folgenden erläutert und auf die untersuchten Straßen angewendet.

Parameter für die Beschreibung des Straßenzustandes im Sinne der PM10-Emissionsmodellierung

Es wurde vorgeschlagen, die nicht auspuffbedingten Emissionen der Straßen als von folgenden Größen abhängig zu beschreiben:

1. Art des Fahrbahnmaterials. Hier sollte zunächst differenziert werden in Beton, Asphalt und Pflaster. Nur diese 3 Materialien sind auch visuell eindeutig unterscheidbar. Unterschiedliche Abriebsfestigkeiten sind in der Literatur qualitativ beschrieben (z. B. SIEKER und GROTTKER, 1988).
2. Zustand der Fahrbahnoberfläche.
3. Zustand der an die Straße angrenzenden Bürgersteige und/oder Parkflächen.

Die Fahrbahnmaterialien sind visuell eindeutig zuordenbar. Der Zustand der Fahrbahnoberfläche, aber auch der angrenzenden Gehwege und Parkflächen wird allerdings charakterisiert durch eine Vielzahl von Eigenschaften. Eine Möglichkeit für eine objektive Zuordnung wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen von Straßen

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) – Arbeitsausschuss Systema-

tik der Straßenerhaltung – veröffentlichte im Jahr 2001 mehrere Arbeitspapiere (AP) zur Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen von Straßen (ZEB).

Die Veranlassung für diese Arbeitspapiere liegt darin, dass „nach den gültigen Rechts- und Inhaltsbestimmungen die Straßenbaulastträger entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit einen Straßenzustand aufrechtzuerhalten haben, der dem Verkehrsteilnehmer ein Höchstmaß an Sicherheit und eine angemessene Befahrbarkeit bei gleichzeitig minimalen gesamtwirtschaftlichen Kosten und höchstmöglicher Umweltverträglichkeit gewährleistet. Die Entscheidungen über Erhaltungsmaßnahmen sollten dabei auf Grundlage systematischer Analysen nach möglichst objektiven Gesichtspunkten getroffen werden. Die erstellten AP beinhalten dabei noch keine Regeln der Technik, sondern Hinweise und Empfehlungen, die sich bisher in der Praxis bewährt haben“.

Das objektive Bewertungsprinzip besteht darin, dass so genannte Zustandsmerkmale (Risse, Kantenabbrüche etc.) über messtechnisch oder visuell erfassbare Zustandsgrößen (z. B. Anteil der Fahrbahnoberfläche mit Rissen in %, Rissbreite in mm) beschrieben und diese wiederum in dimensionslose Zustandswerte (zwischen 1 und 5 im Sinne einer Notenskala) überführt werden. Anschließend können die verschiedenen Zustandswerte (z. B. für Unebenheiten, Risse etc.) zu generellen Zustandswerten (= Teilzielwerte) und diese wiederum zu einem Gesamtwert verknüpft und als Zahlenwert beurteilt werden. Bild 7.5 zeigt dies schematisch auf. In Bild 7.6 wird dies anhand des Beispiels von Beton-Fahrbahnen untersetzt.

Als Parameter auf dem Weg zur Beurteilung des Straßenzustandes im Sinne der PM10-Emissionsmodellierung schlagen wir vor, den so genannten Schadenswert (TWRIO) zu verwenden. Dieser charakterisiert die Oberflächenbeschaffenheit anhand von Merkmalen wie betroffene Fläche mit Netzriss und Risshäufungen, betroffene Fläche mit Flickstellen, betroffene Fläche mit sonstigen Oberflächenschäden wie Abrieb, Ausmagerung, Splittverlust, Abplatzungen, Bindemittelanreicherungen etc. Es wird hierbei auch unterschieden in Beton-, Asphalt- und Pflasterstraßen. Dieses Verfahren zur Erfassung des Schadenswertes TWRIO wird im Folgenden unverändert aus dem ZEB übernommen.

Die Parameter des Gebrauchswertes einer Straße werden (in erster Näherung) für die PM10-Emis-

sionsmodellierung als nicht relevant angesehen und somit nicht betrachtet. Deshalb erfolgt die Charakterisierung der Oberfläche der Straße im Folgenden nur anhand des Schadenswertes TWRIO.

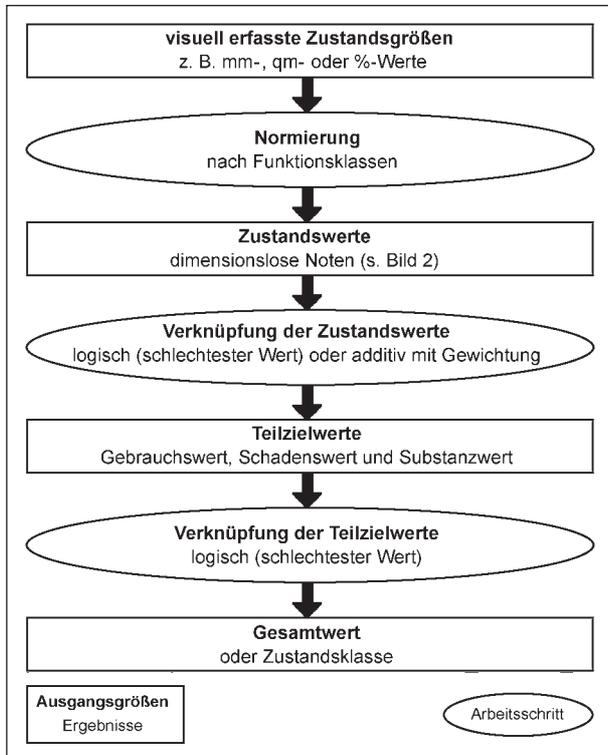


Bild 7.5: Teilschritte bei der Zustandsbewertung einer Fahrbahnoberfläche (Quelle: FGSV, 2001)

Die im ZEB vorgegebene Verknüpfung der Zustandswerte zum Schadenswert gilt streng genommen nur für die Erfordernisse der Straßenunterhaltung. Ob genau diese Verknüpfung oder eventuell eine andere Wichtung für die PM10-Emissionscharakterisierung besser wäre, ist derzeit unklar. Das Verfahren aus ZEB wird für das vorliegende Projekt mangels Alternativen unverändert übernommen.

Zur Verdeutlichung der o. a. Ausführungen sind die konkreten Einflussparameter und deren Weiterverarbeitung anhand eines Beispiels in Tabelle 7.1 (= Excel-Arbeitsblatt) dargestellt.

Das Arbeitsblatt zeigt die Messwerte für die Zustandsgroßen. Daraus werden die einzelnen Zustandswerte berechnet. Die einzelnen Zustandswerte stellen normierte (dimensionslose) Größen im Sinne einer Benotung (z. B. 1.0 = „sehr gut“, 5.0 = „sehr schlecht“) dar. Die Umrechnung erfolgt in dem Arbeitsblatt mit Hilfe der im ZEB vorgegebenen Beziehungen. Laut ZEB gibt es die in Tabelle 7.1 dargestellten Bewertungen für den Zustandswert.

Die Straßenbaubehörden sollen laut ZEB daraus wie folgt urteilen:

- Der Zustandswert 1.5 kennzeichnet den Zielwert für eine Straße.
- Der Zustandswert 3.5 wird mit Warnwert bezeichnet. Der Warnwert beschreibt einen Zu-

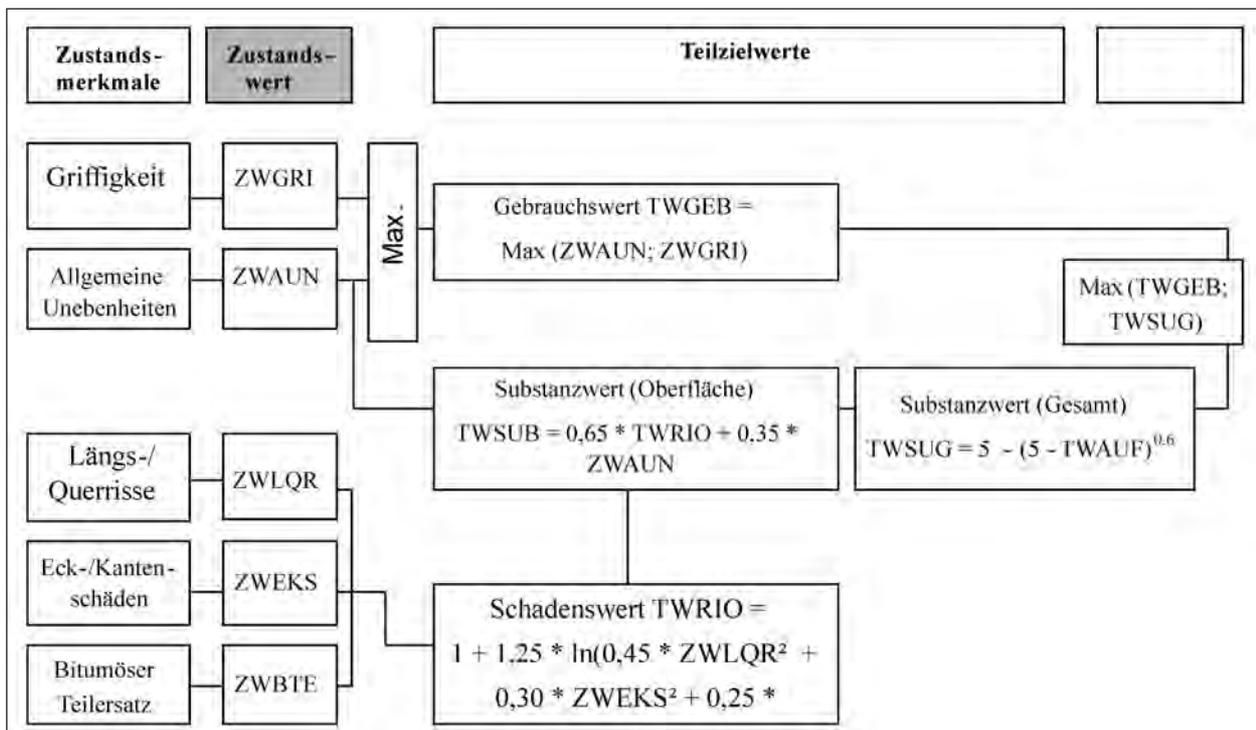


Bild 7.6: Bildung der Teilzielwerte und des Gesamtwertes am Beispiel von Betonfahrbahnen entsprechend ZEB (Quelle: FGSV, 2001), siehe auch Tabelle 7.1

stand, dessen Erreichen Anlass zu intensiver Beobachtung, zur Analyse der Ursachen für den schlechten Zustand und ggf. zur Planung von geeigneten Maßnahmen gibt.

- Der Zustandswert 4.5 wird mit Schwellenwert bezeichnet. Der Schwellenwert beschreibt einen Zustand, bei dessen Erreichen die Einleitung von baulichen oder verkehrsbeschränkenden Maßnahmen geprüft werden muss.

Die Zustandsgrößen (in Tabelle 7.1 links inklusive ihrer Zustandsmerkmale aufgeführt) müssen visuell erfasst werden. Dafür gibt die ZEB, Reihe V, z. B. Abschnitt V2 (Visuelle Zustandserfassung Außerortsstraßen) Handlungshinweise und Erfassungsbögen vor.

Die Erfassung der Zustandsgrößen auf Asphalt (und auch Pflasterstraßen) sollte laut ZEB grundsätzlich auf Basis eines Flächenrasters erfolgen. Die Erfassung der Zustandsgrößen auf Betonfahrbahnen sollte grundsätzlich auf der Basis der einzelnen Platten erfolgen. Die Erfassung sollte bei weitgehend trockenen Fahrbahnen durchgeführt werden. Die Ergebnisse sollten repräsentativ für einen ca. 100 m langen Abschnitt der Straße im Bereich der betrachteten Messstelle sein.

Sind für einen Straßenabschnitt die Zustandsgrößen aufgenommen und der Schadenswert TWRIO berechnet, kann dieser noch in eine Schadenswertklasse eingeordnet werden. Die ZEB schlägt 8 Klassen vor: Schadenswert < 1.5 entspricht Klasse 1 (sehr gut), bis hin zu ≥ 4.5 entspricht Klasse 8 (sehr schlecht), siehe Tabelle 7.2.

Schadenswert-klasse	Schadenswert TWRIO	Farbe	Vorschlag für verbale Beurteilung der Straßenwert-klasse
1	< 1.5	Blau	sehr gut
2	1.5 bis < 2.0	Grün	gut
3	2.0 bis < 2.5	Grün	gut
4	2.5 bis < 3.0	Grün	gut
5	3.0 bis < 3.5	Grün	gut
6	3.5 bis < 4.0	Gelb	schlecht
7	4.0 bis < 4.5	Gelb	schlecht
8	≥ 4.5	Rot	sehr schlecht

Tab. 7.2: Klassifizierung des Schadenswertes TWRIO von Fahrbahnoberflächen in Schadenswertklassen inklusive deren farblicher Zuordnung bei grafischen Darstellungen und Vorschlag für verbale Beurteilung in Anlehnung an FGSV (2001)

Asphalt:					
Zustandsmerkmal	Zustandsgröße		Einheit	Zustandswert	
betroffene Fläche mit Netzrisen- und Risshäufungen	RIS=	5	[%]	ZWRIS=	2,07
betroffene Fläche mit Flickstellen	FLI=	10	[%]	ZWFLI=	2,25
betroffene Fläche mit sonstige Oberflächenschäden wie: Abrieb, Ausmagerung, Splittverlust, Abplatzungen, Bindemittelanreicherungen	OBS=	10	[%]	ZWOBS=	2,25
Schadenswert TWRIO =			2,93		
Schadenswertklasse =			④		
Betondecken:					
Zustandsmerkmal	Zustandsgröße		Einheit	Zustandswert ==>	
mittlere Länge der Längs- und Querrisse	LQRL	1	[m]	ZWLQRL	2,45
betroffene Platten mit Längs- und Querrissen	LQRP	20	[%]	ZWLQRP	3,23
mittlere Länge der Eck- und Kantenschäden	EKSL	2	[m]	ZWEKSL	3,50
betroffene Platten mit Eck- und Kantenschäden	EKSP	15	[%]	ZWEKSP	2,77
mittlere Fläche bituminöser Teilersatz	BTEF	5	[m ²]	ZWBTEF	3,75
betroffene Platten Bituminöser Teilersatz	BTEP	10	[%]	ZWBTEP	2,32
Schadenswert TWRIO =			3,64		
Schadenswertklasse =			⑥		
Pflaster:					
Zustandsmerkmal	Zustandsgröße		Einheit	Zustandswert	
Anteil Fläche mit offenen Pflasterfugen	RIS=	25	[%]	ZWRIS=	4,50
betroffene Fläche mit Flickstellen ohne vergossene Risse	FLI=	1	[%]	ZWFLI=	1,50
betroffene Fläche mit sonstige Oberflächenschäden wie: Verschleiß, Abplatzungen und Zertrümmerungen	OBS=	1	[%]	ZWOBS=	1,50
Schadenswert TWRIO =			4,03		
Schadenswertklasse =			⑦		

Tab. 7.1: Zustandsmerkmale, Zustandsgrößen und Zustandswerte für Fahrbahnoberflächen entsprechend FGSV-Arbeitspapier Nr. 9/A1.2 anhand von Beispielen; Eingabe = Zustandsgrößen, Ausgabe = Zustandswerte, Schadenswert TWRIO und Schadenswertklasse

Zustandserfassung und -bewertung der anliegenden Gehwege und Parkflächen

Die Übernahme des Erfassungs- und Bewertungsverfahrens für Fahrbahnoberflächen wird für die an die Straße anliegenden Bereiche als nicht sinnvoll angesehen, denn hier könnte insbesondere das vorhandene Staubpotenzial für die Emission bzw. die Verschleppung von Staub auf die Straße wichtig sein. Die Erfahrungen an der Lützner Straße und an der Schildhornstraße deuteten damals an, dass dort insbesondere die Befestigungsart der Parkflächen (unbefestigt, schlecht befestigt etc.), das Vorhandensein von Parkflächen (befestigt, unbefestigt etc.) und die vorliegende Sauberkeit eine Rolle gespielt haben könnten.

Deshalb wurde folgende dreistufige Einteilung für den Schadenswert der Gehwege/Parkflächen vorgeschlagen:

- 1: sehr guter Zustand, Bürgersteige/Parkflächen befestigt und sauber,
- 2: weniger guter Zustand, Bürgersteige/Parkflächen zwar befestigt, aber verschmutzt oder rissig und löchrig,
- 3: schlechter Zustand, Bürgersteige/Parkflächen unbefestigt oder sehr stark verschmutzt.

Bestimmung der Straßenzustandklasse

Für die Ermittlung der Straßenzustandklasse („gut“ oder „schlecht“) wurde die in Tabelle 7.3 aufgezeigte Zusammenführung der Parameter Fahrbahnmaterial, Schadenswertklasse der Fahrbahn nach ZEB und Schadenswert Gehweg/Parkflächen vorgeschlagen. Dabei wurde ein Wichtungsfaktor festgelegt, der den Schwerpunkt auf die Fahrbahnoberfläche (50 %) legt. Als zweitwichtigster Parameter wird das Fahrbahnmaterial (Wichtungsfaktor 30 %) angesehen, wobei Beton günstiger als Asphalt bewertet wird. Nach SIEKER und GROTTKER (1988) beträgt der Abrieb bei Zementbetonfahrbahnen ca. 1/3 des Abriebs bei Asphaltfahrbahnen. Deshalb erhält Beton den Abriebswert 1, Asphalt den Abriebswert 3. Über die Abriebsfestigkeit von Pflastersteinen liegen keine Informationen vor, sie sind wohl aber deutlich abriebsfester als z. B. Asphalt. Deshalb wird dem Pflaster der Abriebswert 0.5 zugeordnet. Die restlichen 20 % werden dem Einfluss des Schadenswertes Gehweg/Parkflächen zugeordnet. In Tabelle 7.3 ist dies an den Beispielen Turmstraße und Raffineriestraße aufgezeigt. Für die Abriebswerte und Wichtungsfaktoren in Tabelle 7.3 gibt es keine näheren Informationen bzgl. deren Plausibilität. Mangels Informationen wurden sie in vorliegender Untersuchung als Schätzwerte angesetzt.

Für die derzeitige für die Anwendung erforderliche Unterteilung in die Straßenzustandsklassen „gut“

1. Klassifizierung Fahrbahnmaterial			Abriebswert:	
	Pflaster			0,5
	Beton			1
	Asphalt			3
2. Schadenswertklasse der Fahrbahn:				
Berechnet aus Zustandswerten der Straße entsprechend Arbeitspapier Nr. 9/A1.2 zur Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen von Straßen (ZEB)			1 bis 8	
3. Schadenswert der Gehwege und/oder anliegenden Parkflächen				
	sehr guter Zustand, Gehwege/Parkflächen befestigt und sauber			1
	weniger guter Zustand, Gehwege/Parkflächen zwar befestigt, aber verschmutzt oder rissig und löchrig			2
	schlechter Zustand, Gehwege/Parkflächen unbefestigt oder sehr stark verschmutzt			3
Grenze für die Straßenzustandsklasse gut/schlecht: Straßenzustand = 3,5				
	Schadenswertklasse			
	Material	Straße	Gehweg/Parkflächen	
Wichtungsfaktor:	0,3	0,5	0,2	
Turmstraße (Straßenabschnitt 10)	3	5	3	Turmstraße
	0,9	2,5	0,6	4,00 SCHLECHT
Raffineriestraße (Straßenabschnitt 14)	3	1	2	Raffineriestraße
	0,9	0,5	0,4	1,80 GUT

Tab. 7.3: Schema zur Ermittlung des Straßenzustandes und der Straßenzustandsklasse zur PM10-Emissionsbestimmung und Angabe zweier Beispiele

oder „schlecht“ wurde in LOHMEYER (2003a) (allerdings ohne diesbezügliche Erfahrung) vorgeschlagen, die Schwelle bei einem Wert für den Straßenzustand von 3.5 anzusetzen, mit < 3.5 als gut. Dies wird auch hier so verwendet.

7.2.3 Kenngrößen und Ergebnisse für die untersuchten Straßenabschnitte

Die mit dem zuvor erläuterten Verfahren auf Basis einer visuellen Einschätzung bestimmten Kenngrößen sind in der Tabelle 7.4 für die untersuchten Straßenabschnitte (zur Lage siehe Bild 4.6) aufgeführt.

Straßenabschnitte	Kennung Material	Schadenswertklasse Straße	Schadenswert Gehweg/Parkfläche	Straßenzustandsklasse	Straßenzustand im Sinne der bisherigen PM10-Emissionsmodellierung
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 1)	3 (Asphalt)	4	2 (weniger guter Zustand)	3.3	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 2)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 3)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 4)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 5)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 6)	3 (Asphalt)	4	2 (weniger guter Zustand)	3.3	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 7)	3 (Asphalt)	4	2 (weniger guter Zustand)	3.3	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 8)	3 (Asphalt)	4	2 (weniger guter Zustand)	3.3	gut
Merseburgerstraße (Straßenabschnitt 9)	3 (Asphalt)	4	2 (weniger guter Zustand)	3.3	gut
Turmstraße (Straßenabschnitt 10)	3 (Asphalt)	5	3 (schlechter Zustand)	4.0	schlecht
Turmstraße (Straßenabschnitt 11)	3 (Asphalt)	5	2 (weniger guter Zustand)	3.8	schlecht
Turmstraße (Straßenabschnitt 12)	3 (Asphalt)	7	1 (sehr guter Zustand)	4.6	schlecht
Pfännerhöhe (Straßenabschnitt 13)	3 (Asphalt)	1	2 (weniger guter Zustand)	1.8	gut
Raffineriestraße (Straßenabschnitt 14)	3 (Asphalt)	1	2 (weniger guter Zustand)	1.8	gut
Raffineriestraße (Straßenabschnitt 15)	3 (Asphalt)	1	2 (weniger guter Zustand)	1.8	gut
Ernst-Rudolf-Weise-Str. (Straßenabschnitt 16)	3 (Asphalt)	2	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Ernst-Rudolf-Weise-Str. (Straßenabschnitt 17)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Ernst-Rudolf-Weise-Str. (Straßenabschnitt 18)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Bruckdorfer Straße (Straßenabschnitt 19)	3 (Asphalt)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.8	gut
Osendorfer Straße (Straßenabschnitt 20)	0.5 (Pflaster)	3	2 (weniger guter Zustand)	2.0	gut
Maybachstraße (Straßenabschnitt 21)	0.5 (Pflaster)	4	2 (weniger guter Zustand)	2.5	gut
Ernst-Kamieth-Straße (Straßenabschnitt 22)	3 (Asphalt)	4	2 (weniger guter Zustand)	3.3	gut
Buddestraße (Straßenabschnitt 23)	0.5 (Pflaster)	4	2 (weniger guter Zustand)	2.5	gut
Karl-Meseberg-Straße (Straßenabschnitt 24)	3 (Asphalt)	4	3 (schlechter Zustand)	3.5	schlecht
Heinrich-Schütz-Str. (Straßenabschnitt 25)	0.5 (Pflaster)	3	3 (schlechter Zustand)	2.2	gut

Tab. 7.4: Kenndaten zur Ermittlung des Straßenzustandes im Sinne der bisherigen PM10-Emissionsmodellierung auf den visuell untersuchten Straßenabschnitten

Wie aus Tabelle 7.4 ersichtlich, weisen die Straßen im Untersuchungsgebiet im Allgemeinen einen guten Zustand auf.

Am besten schneiden die Pfännerhöhe und die Raffineriestraße ab (Straßenzustandsklasse 1.8). Wie in Kapitel 7.2.1 schon erwähnt, handelt es sich hier um sanierte Straßenabschnitte, welche keinerlei Schäden aufweisen. Leichte negative Wirkung bei der Ermittlung der Straßenzustandsklassen haben ggf. die Beschaffenheit der Gehwege und angrenzenden Parkplätze.

Der Gegensatz dazu bildet die Turmstraße. Sie erfährt eine durchgehend schlechte Bewertung. Die Straßenzustandsklassen liegen besonders im Abschnitt 10 mit einem Wert von 4.0 und im Abschnitt 12 sogar mit einem Wert von 4.6 deutlich über dem festgelegten Schwellenwert von 3.5. Das schlechte Abschneiden der Turmstraße liegt hauptsächlich am Zustand der Straße, welche starke Schäden aufweist.

Des Weiteren wird auch die Karl-Meseberg-Straße (Abschnitt 24) als „schlecht“ charakterisiert. Die Straßenzustandsklasse beträgt hier allerdings genau 3.5. Dieses Ergebnis rührt daher, dass bei dieser Straße insbesondere die angrenzenden Gehwege in einem sehr schlechten Zustand sind.

Die anderen Straßen liegen bei Straßenzustandsklassen im Bereich von 2 bis 3. Sie sind daher als „gut“ im Bezug auf die bisherige Bewertung zu klassifizieren, wobei der Wert sich in einigen Straßenabschnitten dem angesetzten Schwellenwert von 3.5 annähert. So liegt zum Beispiel die Straßenzustandsklasse der Ernst-Kamith-Straße bei 3.3 oder auch die Abschnitte 6 bis 9 in der Merseburger Straße liegen bei einer Zustandsklasse von 3.3.

7.3 Verkehrssituationen auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet

Die Methodik der messtechnischen Bestimmung der Verkehrssituationen (VS) auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet ist in Kapitel 4.4.2 erläutert. Die Ergebnisse sind tabellarisch in den Tabellen 5.2 und 5.3 gegeben. Bild 7.7 stellt die Verkehrssituationen grafisch dar. Die Ergebnisse der Bewertung der Fahrbahnoberflächen wurden entsprechend den Ergebnissen in Kapitel 7.2 zunächst durch eine entsprechende Kennung („schlecht“ bzw. „Pflaster“ berücksichtigt).

Insgesamt liegen die Verkehrssituationen HVS2 bzw. HVS2_30 und IO_Kern sowie NS_dicht und



NS_frei am häufigsten vor. Die Verkehrssituationen LSA1/HVS3 lagen nicht vor, die Situationen LSA2 und HVS4 nur auf wenigen Straßenabschnitten.

Es sei darauf hingewiesen, dass die Verkehrssituationen nur an zwei Tagen (in der ersten und dritten Woche) der dreiwöchigen Messkampagne messtechnisch erfasst werden konnten. Neben der erwarteten Veränderung der Verkehrssituation auf einigen Abschnitten der Merseburger Straße wegen des Wegfalls der Geschwindigkeitsbeschränkung zeigen auch einige Straßenabschnitte auf dem umliegenden Straßennetz z. T. unterschiedliche Verkehrssituationen. Dies zeigt gewisse Bandbreiten des Verkehrsflusses auf. Unabhängig davon wurde den Messtagen 21.04. bis 30.04.08 die am 24.04.08 ermittelten Verkehrssituationen zugeordnet, den Messtagen 01.05. bis 10.05.08 die am 06.05.08 ermittelten.

7.4 Korrelation der Verkehrssituationen unter Berücksichtigung der Fahrbahnzustände mit den SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren

Bild 7.8 zeigt die mittleren Tageswerte der SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von den zugeordneten Verkehrssituationen, und zwar differenziert nach den 3-Uhr-Werten (repräsentativ für nachts) sowie dem Mittelwert über die 7, 12 und 17-Uhr-Werte (repräsentativ für tags).

Es ist zu erkennen, dass innerhalb der gleichen Verkehrssituation (VS) die Werte deutlich variieren. Die höchsten Tageswerte lagen am 21.04. bei der VS „Kern“ mit über 1 000 mg/km vor. Die niedrigsten Werte wurden nachts mit ca. 100 mg/km bei den VS „HVS2_30_schlecht“ bzw. „Kern_schlecht“ (jeweils 23.04.08) bzw. tags mit ca. 200 mg/km an unterschiedlichen Tagen und VS festgestellt. Häufig liegen die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren zwischen 200 und 600 mg/km. Relevante Unterschiede zwischen den Tag- und Nachtwerten sowie zwischen den VS drängen sich hier zunächst nicht auf. Für die Tagwerte (Bild 7.8 unten) fällt auf, dass die höchsten Werte oftmals am 21.04. gemessen worden sind. Die Ursache dafür ist unklar. Allerdings lagen an diesem Tag die mit ca. 6 m/s höchsten Überdachwindgeschwindigkeiten im Untersuchungszeitraum vor (siehe Bild 5.13).

In Bild 7.9 sind die Mittelwerte des Maßes für den nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissions-

faktor über alle Tage zusammen mit der Standardabweichung dargestellt.

Daraus kann Folgendes abgeleitet werden:

- Es konnten im Messzeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tag- und den Nachtwerten festgestellt werden.
- Die Unterschiede der mittleren SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Verkehrssituationen lagen im Messzeitraum innerhalb der Standardabweichung und sind damit statistisch nicht signifikant.
- Ein schlechter Straßenzustand führte bei gleicher Verkehrssituation im Messzeitraum nicht zwangsläufig zu einem höheren nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor. Im Allgemeinen liegen hier sogar die Straßenabschnitte mit schlechtem Straßenzustand tendenziell niedriger als die im gutem Zustand. Dies betrifft die Abschnitte der Turmstraße (siehe Diskussion unten).
- Ebenfalls führte im Messzeitraum eine gepflasterte Fahrbahnoberfläche nicht zwangsläufig zu einem deutlich höheren nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor.

Im Mittel wurde ein nicht motorbedingter SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor (kalibriert mit Werten aus Finnland) von 405 ± 112 mg/km im Messzeitraum ermittelt.

Es konnte auch festgestellt werden, dass es im Messzeitraum keine signifikante Korrelation zwischen den SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren und der Schadenswertklasse der Straße, der Straßenzustandsklasse und dem Zustand der Gehwege gab (hier nicht grafisch dargestellt).

Um zu untersuchen, ob signifikante Unterschiede der SNIFFER-Emissionsfaktoren auf unterschiedlichen Straßen beobachtbar waren, sind in Bild 7.10 die Emissionsfaktoren differenziert nach Straßenabschnitten dargestellt. Da die Tag-/Nachtunterschiede gering sind, werden dort nur die Mittelwerte über den Tagzeitraum dargestellt.

Auffällig ist hierbei, dass im Messzeitraum die Turmstraße, trotz des dort vorliegenden sehr schlechten Fahrbahnzustandes, signifikant die niedrigsten SNIFFER-Emissionsfaktoren (ca. 300 mg/km) aufwies. An den anderen Straßenabschnitten waren im Messzeitraum die Werte ca. 1/3 bis 2/3 höher und lagen dort im Mittel bei 420 mg/km.

Warum die SNIFFER-Emissionsfaktoren in der Turmstraße niedriger lagen, konnte im Rahmen des Projektes nicht geklärt werden. Optisch wesent-

lichster Unterschied zu den anderen Straßenabschnitten war neben dem sehr schlechten Straßenzustand eine sehr glatte Oberfläche der großen As-

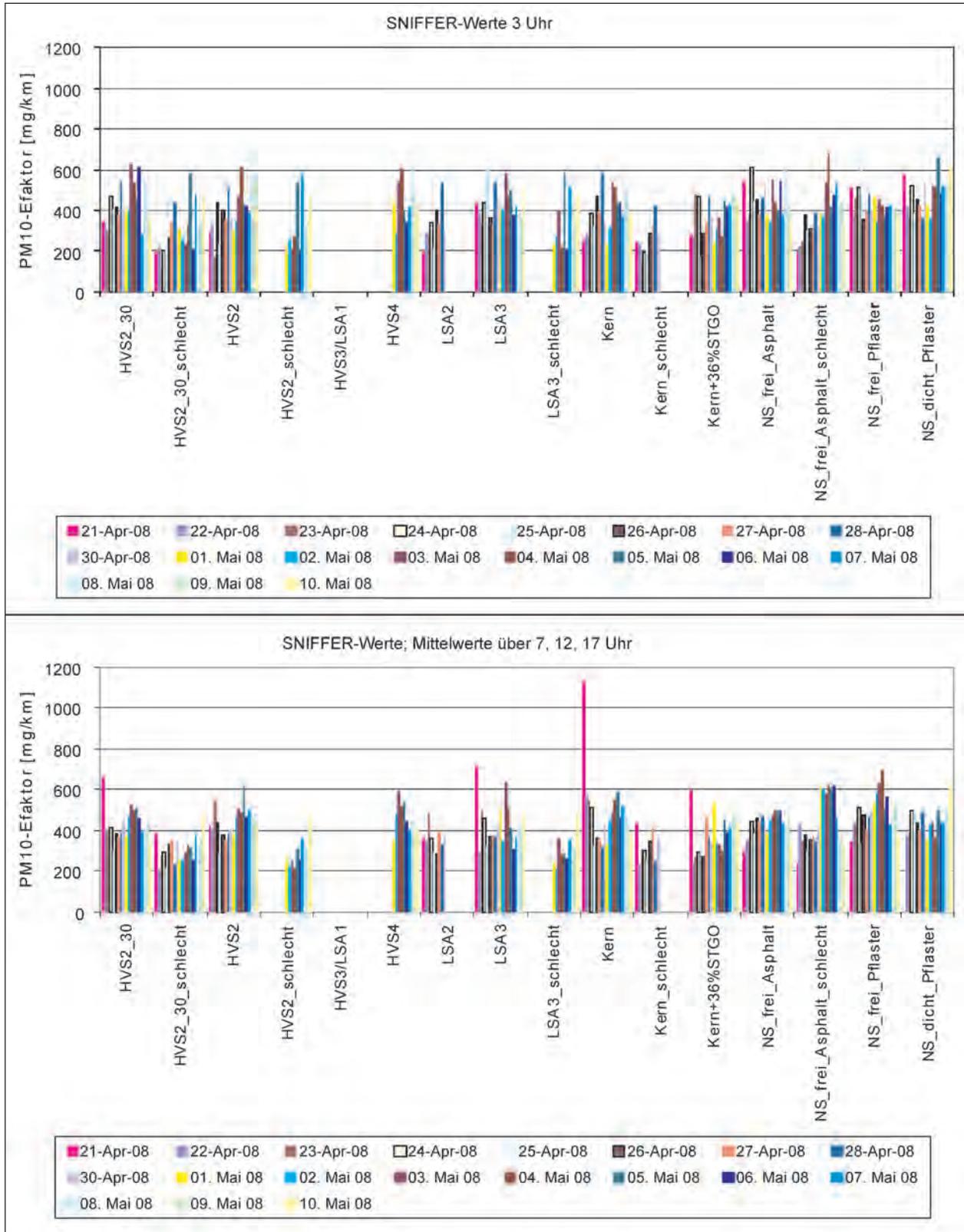


Bild 7.8: Maß für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von den ermittelten Verkehrssituationen

phaltflickstellen (siehe z. B. Bild 7.3) relativ zu den anderen Straßenoberflächen und die nur einseitig dichte Straßenrandbebauung (gute Durchlüftung) bei einer nord-süd gerichteten Straße. Die anderen Straßenabschnitte sind beidseitig bebaut oder verlaufen bei ebenfalls guter Durchlüftung in Ost-West-Ausrichtung (z. B. Abschnitte 13, 15, 16 und 22).

Die tendenziell höchsten Werte lagen im Messzeitraum an den Abschnitten 4, 7 und 8 der Mersebur-

ger Straße vor. Am Abschnitt 4 sind auch die Streuungen deutlich am größten. Der tendenziell niedrigste Wert wurde (außerhalb der Turmstraße) am Abschnitt 1 der Merseburger Straße, Abschnitt 18 (R.-E.-Weise-Straße) und Abschnitt 21 (Maybachstraße), festgestellt.

Wegen der Besonderheit der Turmstraße wurde in Bild 4.12 die Turmstraße in der Systematisierung nicht berücksichtigt. Die Unterschiede sind, wie be-

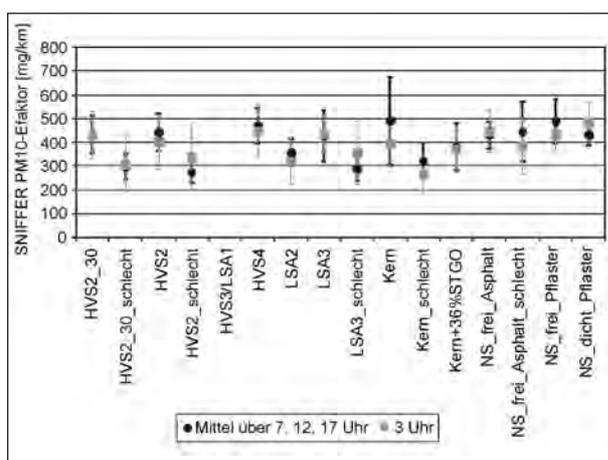


Bild 7.9: Mittelwerte über alle Messtage und alle Straßenabschnitte des Maßes für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sowie deren Standardabweichungen in Abhängigkeit von den ermittelten Verkehrssituationen

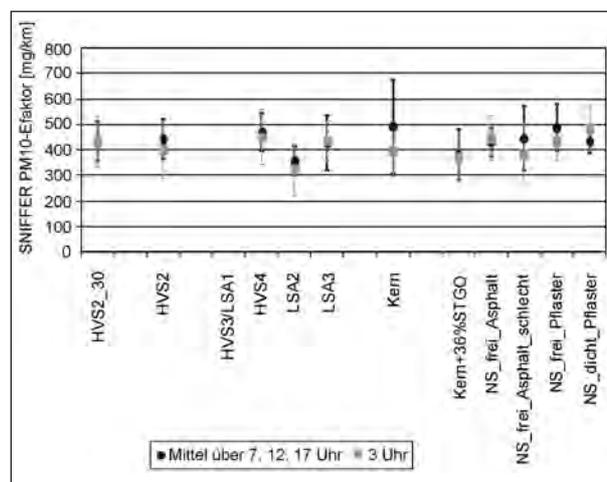


Bild 7.11: Mittelwerte über alle Messtage und alle Straßenabschnitte ohne Turmstraße des Maßes für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sowie deren Standardabweichungen in Abhängigkeit von den ermittelten Verkehrssituationen

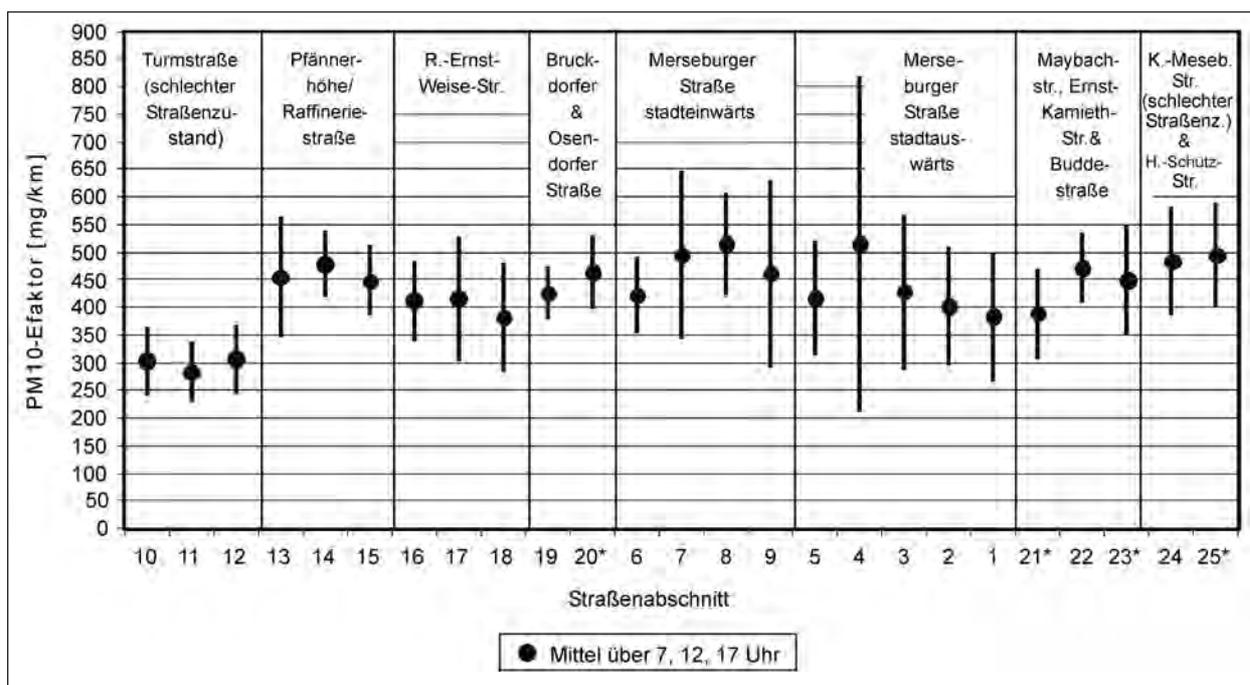


Bild 7.10: Mittelwerte (über alle Messtage) im Tagzeitraum des Maßes für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sowie deren Standardabweichungen in Abhängigkeit für die untersuchten Straßenabschnitte. Straßenabschnitte, die mit einem * gekennzeichnet sind, sind gepflastert

reits bei Bild 7.9 diskutiert, zwischen den Verkehrssituationen gering.

Ein statistisch signifikanter Einfluss des Pflasterbelages gegenüber Asphaltbelägen auf die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionen kann auch bei der straßenabhängigen Auswertung nicht festgestellt werden. Allerdings waren alle Straßenabschnitte mit Pflasterbelag entsprechend der Bewertung aus Kapitel 7.2 in einem guten Zustand und SNIFFER fuhr auf diesen Straßen deutlich langsamer als auf den anderen Straßenabschnitten (Bild 5.17).

Fazit

Die nach HBEFa klassifizierte Verkehrssituation hatte im Messzeitraum keinen signifikanten Einfluss auf das mit SNIFFER ermittelte Maß für die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren. Der im derzeitigen PM10-Emissionsmodell ange-setzte starke Anstieg der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren für Straßen mit schlechtem Verkehrsfluss, welcher sich aus einer Vielzahl von ausgewerteten Immissionsmessungen ableitete, spiegelte sich nicht wider.

Die mit Abstand höchsten SNIFFER-Emissionsfaktoren in einigen Straßenabschnitten der Merseburger Straße und der R.-E.-Weise-Straße wurden am 21.04.2008 festgestellt. Die Ursache dafür ist unklar. Allerdings lagen an diesem Tag die mit ca. 6 m/s höchsten Überdachwindgeschwindigkeiten im Untersuchungszeitraum vor.

Die visuell eingeschätzten Fahrbahneigenschaften (sowohl Material als auch optische Unterschiede in der Beschaffenheit) zeigten auf, dass die Turmstraße und die Karl-Meseberg-Straße einen im Sinne der bisherigen PM10-Emissionsmodellierung schlechten Straßenzustand aufweisen. Signifikant niedrigere Werte der SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren wurden aber nur in der Turmstraße festgestellt. Optisch wesentlichster Unterschied zu den anderen Straßenabschnitten war dort neben dem sehr schlechten Straßenzustand eine sehr glatte Oberfläche der großen Asphaltflickstellen relativ zu den anderen Straßenoberflächen und die nur einseitig dichte Straßenrandbebauung in Nord-Süd-Ausrichtung. Die anderen Straßenabschnitte sind entweder beidseitig bebaut oder ost-west orientiert.

Ein statistisch signifikanter Einfluss des Pflasterbelages gegenüber Asphaltbelägen auf die nicht mo-

torbedingten SNIFFER-PM10-Emissionen kann auch bei der straßenabhängigen Auswertung nicht festgestellt werden. Allerdings waren alle Straßenabschnitte mit Pflasterbelag entsprechend der vorgenommenen Bewertung in einem guten Zustand und SNIFFER fuhr auf diesen Straßen deutlich langsamer als auf den anderen Straßenabschnitten.

8 Zusammenfassung

Verkehrsberuhigende Maßnahmen

Ziel des Projektes war es, den Kommunen und zuständigen Immissionsschutzbehörden bei der Durchführung von Maßnahmen im Zuge von Luftreinhalte- und Aktionsplanungen zur Senkung der innerstädtischen Partikelbelastung Hinweise auf die Wirkung von verkehrsberuhigenden Maßnahmen zu geben.

Dazu wurden zunächst aktuelle nationale und internationale Ergebnisse von Forschungsprojekten sowie weitere Literatur zu den bisher gewonnenen Erkenntnissen über verkehrsberuhigende Maßnahmen im Allgemeinen und deren Einfluss auf die PMx-Belastungen (PM10 und kleiner) an Straßen im Besonderen analysiert und systematisiert.

Da die Modellierung der PM10-Minderungspotenziale aus „verkehrsberuhigenden“ Maßnahmen derzeit nicht oder nur sehr unbefriedigend durchgeführt werden kann (so können z. B. mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren HBEFa des Umweltbundesamtes keine Partikelemissionen für Straßen mit Tempo 30 berechnet werden), wurde der Schwerpunkt der Bearbeitung in einer messtechnischen Erfassung und Bewertung gesehen. Hierbei war die Situation vor Umsetzung der Maßnahmen und nach Umsetzung der Maßnahmen zu untersuchen. Da „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen sowohl mit lokalen als auch netzwerkstarken Veränderungen in Verkehrsmengen, Verkehrsfluss und damit in der PM10-Emission-/Immission verbunden sein können, war eine punktuelle messtechnische Erfassung der Auswirkungen nicht ausreichend. Es wurde deshalb die Betrachtung innerhalb eines Untersuchungsgebietes, dessen Größe anhand der konkreten strukturellen Situation festgelegt worden war, durchgeführt. Für die Messkampagne wurde die 4-streifige Merseburger Straße (Hauptverkehrsstraße mit ca. 32 000 Kfz/d) in Halle (Saale) ausgewählt. Das Untersuchungsgebiet beinhaltete so-

wohl die Merseburger Straße mit den „verkehrsberuhigenden“ Maßnahmen als auch anliegende Straßen, die für mögliche Verdrängungseffekte infrage kamen. Auf diesem Straßennetz wurde dann die verkehrliche und immissionsseitige Situation vor und nach Umsetzung der Maßnahmen untersucht. Insgesamt stand dafür ein Messzeitraum von 3 Wochen zur Verfügung. Für die dazu notwendige räumlich differenzierte messtechnische Ermittlung der Immissionssituation wurde das mobile Messfahrzeug SNIFFER eingesetzt. Dieses ermöglicht sowohl die räumlich differenzierte Erfassung der NO_x -, $\text{PM}_{2.5}$ - und PM_{10} -Konzentrationen als auch eines Maßes für den nicht motorbedingten PM_{10} -Emissionsfaktor des SNIFFER-Fahrzeuges auf dem Straßennetz.

In die Untersuchung wurden folgende „verkehrsberuhigende“ Maßnahmen auf der Merseburger Straße im Zeitraum 21.04. bis 01.05.2008 einbezogen:

- Tempo 30-Signalisierung durch Verkehrsschilder mit Zusatz „Feinstaub“,
- Installation von Displays zur Anzeige der Fahrzeuggeschwindigkeit,
- Hinweisschild „Geschwindigkeitskontrolle“,
- Durchführung von Radarkontrollen.

Die Messkampagne wurde zwischen dem 21.04. und 10.05.2008 durchgeführt.

Ergebnisse der Literaturlauswertung

Die Fahrzeuggeschwindigkeit ist nur ein indirekter Einflussparameter auf die Emissionsmenge der Luftschadstoffe. Entscheidend ist die Motorlast, das heißt die momentane Leistung, die das Fahrzeug gerade erbringen muss. In den aktuellen Emissionsberechnungsmodellen sind die spezifischen Emissionen deshalb nicht als Funktion der Geschwindigkeit, sondern in Abhängigkeit von Straßentyp, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Verkehrssituation angegeben.

Geschwindigkeitsreduktionen führen prinzipiell zu einer leichten Verringerung der Stickoxidemissionen (NO_x). Die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen (HC) sind dagegen stärker vom Fahrverlauf (Verkehrsfluss) als von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig. Die Anzahl, Länge und Stärke der Beschleunigungs- und Bremsphasen spielen dabei eine wesentliche Rolle. Der Geschwindigkeitseinfluss auf die Partikelemissionen, insbesondere der nicht motorbedingten Partikelemissionen, ist bisher wenig systematisch untersucht. Die vorliegenden Ergebnisse weisen eher auf eine Abhängigkeit vom Verkehrsfluss hin.

Dies bedeutet, dass das Ziel einer Verkehrsberuhigung nicht nur die Geschwindigkeitsreduktion sein sollte, sondern gleichermaßen eine Verstetigung des Geschwindigkeitsverlaufes über längere Strecken beinhalten muss. Bei verkehrsberuhigenden Maßnahmen sollte daher die Reduzierung der Be-

Straße	Ort/Region	Untersuchung/Maßnahme	Wirkung	Quelle
Frankfurter Allee	Berlin	Analyse PM_{10} -Emissionen aus NO_x -Tracermethode bei $v_{\text{mittel}} = 60 \text{ km/h}$ und 40 km/h bei gleichem Verkehrsfluss	Reduktion bei 40 km/h um ca. 25 bis 50 % relativ zu 60 km/h	SCHULZE (2002)
Beuselstraße	Berlin	Einführung Tempo 30. Verringerung der mittleren Fzg.-Geschw. um 10 km/h	Reduktion der PM_{10} -Emissionen um ca. 2 %	LUTZ et al. (2003)
Schildhornstraße	Berlin	Einführung Tempo 30 mit Radarkontrolle	Reduktion der PM_{10} -Emissionen um 15 bis 30 %	LOHMEYER (2008), RAUTERBERG-WULFF (2009)
	München	Analyse PM_{10} -Abgaspartikel bei Tempo 30 relativ zu Tempo 50	Reduktion der motorbedingten PM_{10} -Emission um ca. 50 %	LfU Bayern (2003)
	Norwegen	v-Luft- PM_{10} -Emissionsmodell	Reduktion der nicht motorbedingten PM_{10} -Emission bei Übergang von 50 auf 40 (30 km/h um 50 (70) %.	SMHI (2002)
PM_{10} -Emissionsmodell	Schweden		Reduktion der nicht motorbedingten PM_{10} -Emission bei Übergang von 50 auf 30 km/h um 70 %	BRINGFIELD (1997)

Tab. 8.1: In der Literatur angegebene Wirkungen von Veränderungen der Fahrzeuggeschwindigkeiten im Innerortsbereich auf die PM_{10} -Emissionen bei unverändertem Verkehrsfluss

schleunigungs- und Bremsanteile im Vordergrund stehen, das heißt z. B. ein Absenken der Spitzengeschwindigkeiten, um die Längen der Beschleunigungs- und Bremsphasen zu reduzieren.

Aus der Systematisierung der vorliegenden Literatur konnten die in Tabelle 8.1 aufgeführten PM10-Minderungen bei „verkehrsberuhigenden Maßnahmen“ im Innerortsbereich zusammengefasst werden.

Ergebnisse der Messungen in Halle

Die Befahrungen und Analysen des Verkehrsflusses durch die TU Dresden zeigten im Nebennetz keine relevanten Unterschiede in den Fahrgeschwindigkeiten zwischen dem Tempo 30 und Tempo 50-Zeitraum.

Die Messungen auf der Hauptverkehrsstraße zeigten einen messbaren, aber geringen Einfluss des Tempo 30-Schildes auf die realisierten Geschwindigkeiten. Nach Wegfall der Tempo 30-Regelung erhöhten sich die Reisegeschwindigkeiten auf der Merseburger Straße um bis zu 8 km/h, im Mittel um ca. 4 km/h.

Dabei ist festzustellen, dass ein Teil dieser Geschwindigkeitsreduktion vor allem durch die angekündigten und durchgeführten Radarkontrollen, ein kleinerer Teil auch durch die Aufstellung der Displays zur Geschwindigkeitsanzeige bedingt waren. Die einzelnen Einflüsse von Display und Radar sind hier nicht quantifizierbar, liegen aber niedriger als z. B. in UBA (2007) ermittelt.

Allein die Aufstellung eines Tempo 30-Schildes auf einer Hauptverkehrsstraße wie der Merseburger Straße (vierspurig, Straßenbahn auf eigenem Gleisbett in Mittellage) hat offenbar nur einen verhältnismäßig geringen Einfluss auf die Reisegeschwindigkeiten.

Der Anteil an Pkw, die schneller als 30 km/h fuhren, lag an den Werktagen, an denen die Radarkontrollen durchgeführt worden sind sowie an denen der Fahrzeugteilnehmer mit Radarkontrollen rechnen musste, bei ca. 80 % bis 85 %, sonst bei über 90 %.

Stadtauswärts war ein etwas niedrigerer Anteil von Beschleunigungsvorgängen während der Tage mit verkehrsberuhigenden Maßnahmen zu verzeichnen. Stadteinwärts waren keine relevanten Unterschiede nachweisbar. Auf den freien Abschnitten vor der Messstelle HEVC (Straßenrand) wurden bei Tempo 30 die Verkehrssituationen „Hauptverkehrs-

straße mit geringen Störungen, Tempo 30“ (HVS2_T30) und bei Tempo 50 „Hauptverkehrsstraße mit geringen Störungen Tempo 50“ (HVS2) ermittelt. Beide Verkehrssituationen unterscheiden sich im Prinzip nur durch die bei Tempo 30 geringere Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Standanteile und die Konstantfahrtanteile unterscheiden sich nur gering. Nur am Abschnitt 3 (mittlerer Abschnitt der Merseburger Straße stadtauswärts) wurde nach Aufhebung des Tempolimits (also bei Tempo 50) signifikant mehr und stärker gebremst.

Es waren durch die Maßnahmen keine Verdrängungseffekte des Verkehrs auf das umliegende Straßennetz festzustellen.

Die verkehrliche PM10-Zusatzbelastung an der Messstelle HEVC (Straßenrand) war im Tempo 30-Zeitraum höher als im Tempo 50-Zeitraum. Bei der NO_x-Zusatzbelastung war es umgekehrt. Wegen des kurzen Messzeitraumes dominieren hier meteorologische Einflüsse (insbesondere die unterschiedlichen Windverhältnisse in den Auswertezitträumen).

Die PM10- und NO_x-Konzentrationen am SNIFFER (auf der Straße) waren an den Werktagen im Tempo 30-Zeitraum niedriger oder gleich der im Tempo 50-Zeitraum. Dies betraf sowohl die Straßenabschnitte, an denen die Maßnahmen durchgeführt wurden, als auch die, die nicht davon betroffen waren.

Die Straßenabschnitte mit den höchsten (nicht motorbedingten) SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sind die nördlich und östlich an die Kreuzung Merseburger Straße/Raffineriestraße angrenzenden Abschnitte, der mittlere stadteinwärtige Abschnitt der Merseburger Straße, die Osendorfer- und die Ernst-Kamieth-Straße. Die Ursachen für die Emissionsverteilungen liegen nicht direkt auf der Hand. Einflüsse der Straßenoberfläche (Osendorfer Straße), des Verkehrsflusses (Kreuzungsbereiche) sowie der unterschiedlich dichten Randbebauung auf die PM10-Emission wären plausible Gründe dafür. Dies sollte in weiterführenden Untersuchungen vertieft werden (siehe „Ausblick“).

Auf den Straßenabschnitten direkt vor der Messstelle HEVC wurde durch die TU Dresden der Verkehrsfluss mit den Verkehrssituationen „HVS2“ (Abschnitt 2 und 3 sowie 8) bzw. „Kern“ (Abschnitt 9) beschrieben. Für diese Verkehrssituationen gibt das derzeit verwendete PM10-Emissionsmodell für die nicht motorbedingten Emissionen für Lkw

(SNIFFER fällt wegen seines Gewichts von mehr als 3.5 t in diese Kategorie) Emissionsfaktoren von 300 mg/km (HVS2) bzw. 800 mg/km (Kern). Die mit SNIFFER ermittelten PM10-Emissionsfaktoren im Mittel des gesamten Messzeitraumes liegen dort bei 400 mg/km (Abschnitt 2), 410 mg/km (Abschnitt 3) sowie 510 mg/km (Abschnitt 8) bzw. 430 mg/km (Abschnitt 9). Die Emissionsfaktoren des Emissionsmodells und die mit SNIFFER ermittelten für „HVS2“ sind somit gut vergleichbar. Der mit SNIFFER ermittelte PM10-Emissionsfaktor für die Verkehrssituation „Kern“ ist vergleichbar mit dem für die Verkehrssituation „HVS2“ und liegt im Emissionsmodell ca. doppelt so hoch wie das Maß des Emissionsfaktors, welches die SNIFFER-Messung lieferte.

Die mit SNIFFER ermittelten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren zeigten für die Abschnitte der Merseburger Straße direkt vor der Messstelle, auf denen ein sehr hoher Konstantfahrtanteil vorlag, eine signifikante positive Korrelation zur Fahrzeuggeschwindigkeit. Daraus lässt sich eine Minderung der (nicht motorbedingten) SNIFFER-PM10-Emissionen von ca. 20 % für die Werktage mit wirksamen verkehrsberuhigenden Maßnahmen ableiten. Falls es gelingen würde, dass alle Fahrzeuge das Tempolimit von 30 km/h bei gleichem Verkehrsfluss einhalten, ergäbe sich aus den abgeleiteten Korrelationsfunktionen ein maximales Minderungspotenzial von 40 % bis 50 %.

An Straßenabschnitten, an denen der Verkehrsfluss ungleichförmiger war, konnte keine solche Korrelation gefunden werden. Hier spielen wahrscheinlich andere Einflüsse (z. B. das Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge) eine stärkere Rolle.

Bei Bremsvorgängen wurde häufig eine deutliche Zunahme der PM1-2.5-Konzentrationen bei SNIFFER festgestellt. Dies könnte auf Bremsabriebs- bzw. Straßenabriebsemissionen hinweisen.

Die Tabelle 8.2 fasst die gefundenen Ergebnisse bzgl. der Wirkung verkehrsberuhigender Maßnahmen zusammen.

Einfluss Straßenzustand und Verkehrssituationen

Zusätzlich sollten die bei diesem Feldversuch gewonnenen Daten in Bezug auf den Einfluss unterschiedlicher Verkehrssituationen (Verkehrsfluss) sowie Material und Zustand der Fahrbahnoberflächen ausgewertet werden.

Überwiegend handelt es sich beim Fahrbahnbelag der Straßen im Untersuchungsgebiet um Asphalt. Dies umfasst insgesamt 21 der untersuchten 25 Straßenabschnitte. Die restlichen vier Abschnitte sind mit Naturpflastersteinen gepflastert. Entsprechend dem angewendeten Bewertungsschema liegt für vier Straßenabschnitte (drei in der Turmstraße und in der Karl-Meseberg-Straße) ein schlechter Straßenzustand vor.

Der höchste Tageswert der SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren lag am 21.04. bei der Verkehrssituation (VS) „Kern“ mit über 1 000 mg/km vor. Die niedrigsten Werte wurden nachts mit ca. 100 mg/km bei den VS „HVS2_30_schlecht“ bzw. „Kern_schlecht“ (jeweils 23.4.08) bzw. tags mit ca. 200 mg/km an unterschiedlichen Tagen und VS festgestellt. Häufig liegen die Tagesmittelwerte der SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren zwischen 200 und 600 mg/km. Es konnten im Mittel des Messzeitraumes keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tag- und den Nachtwerten festgestellt werden. Die Unterschiede des mit SNIFFER ermittelten Maßes für die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren zwischen den Verkehrssituationen lagen im Messzeitraum innerhalb der Standardabweichung und sind damit statistisch nicht signifikant. Ein schlechter Straßenzustand führte bei gleicher Verkehrssituation im Messzeitraum nicht zwangsläufig zu einem höheren mit SNIFFER ermittelten Maß für die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren. Ebenfalls führten im Messzeitraum die gepflasterten Fahrbahnoberflächen, die mit dem hier angewendeten Bewertungsschema als noch gut eingestuft worden sind, nicht zu einem deutlich höheren Wert. Allerdings musste SNIFFER auf diesen Pflasterstraßen auch deutlich langsamer als auf den anderen Straßenabschnitten fahren.

Die nach HBEFa klassifizierte Verkehrssituation hatte im Messzeitraum keinen signifikanten Einfluss auf die SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren. Der im derzeitigen PM10-Emissionsmodell ange-setzte starke Anstieg der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren für Straßen mit schlechtem Verkehrsfluss, welcher sich aus einer Vielzahl von ausgewerteten Immissionsmessungen ableitete, spiegelte sich nicht wider.

Die mit Abstand höchsten SNIFFER-Emissionsfaktoren in einigen Straßenabschnitten der Merseburger Straße und der R.-E.-Weise-Straße wurden am 21.04. festgestellt. Die Ursache dafür ist unklar. Allerdings lagen an diesem Tag die mit ca. 6 m/s

Maßnahme	Nur T 30-Schild	T 30-Schild plus Geschw.-Display	T 30 mit Zusatz „Achtung, Radarkontrolle“	T 30 mit Zusatz „Achtung, Radarkontrolle“ und durchgeführter Radarkontrolle
Straßenabschnitte ohne Einfluss LSA mit sehr hohem Konstantfahrtanteil (HVS2)				
Anteil Pkw mit Fzg.-Geschw. > 30 km/h	ca. 90 %	ca. 90 %	ca. 80 bis 85 %	ca. 80 bis 85 %
Einfluss auf mittlere Fzg.-Geschw.	geringer als mit Radarkontrolle	geringer als mit Radarkontrolle	Reduktion um ca. 5 bis 8 km/h	Reduktion um ca. 5 bis 8 km/h
Einfluss auf Verkehrsfluss	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
Einfluss auf nicht motorbedingte PM10-Emission	Reduktion kleiner 10 %	Reduktion		
kleiner 10 %	Reduktion um ca. 10 % bis 20 %	Reduktion um ca. 10 % bis 20 %		
Straßenabschnitte mit Einfluss durch LSA (Kern, HVS4, LSA2, LSA3)				
Wirkung	geringe Reduktion der Fzg.-Geschwindigkeit, keine relevanten Unterschiede im Verkehrsfluss und bei nicht motorbedingten PM10-Emissionen			

Tab. 8.2: Tabellarische Zusammenfassung der gewonnenen Ergebnisse

höchsten Überdachwindgeschwindigkeiten im Untersuchungszeitraum vor.

Die visuell eingeschätzten Fahrbahneigenschaften (sowohl Material als auch optische Unterschiede in der Beschaffenheit) zeigten auf, dass die Turmstraße und die Karl-Meseberg-Straße einen im Sinne der bisherigen PM10-Emissionsmodellierung schlechten Straßenzustand aufweisen. Signifikant niedrigere Werte des mit SNIFFER ermittelten Maßes für die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren wurden trotz des dort vorliegenden schlechten Fahrbahnzustandes nur in der Turmstraße festgestellt. Optisch wesentlichster Unterschied zu den anderen Straßenabschnitten war dort neben dem sehr schlechten Straßenzustand eine sehr glatte Oberfläche der großen Asphaltflickstellen relativ zu den anderen Straßenoberflächen und die nur einseitig dichte Straßenrandbebauung in Nord-Süd-Ausrichtung. Die anderen Straßenabschnitte sind entweder beidseitig bebaut oder ost-west orientiert.

Ausblick

Der durchgeführte Feldversuch und die durchgeführten Datenauswertungen zeigten auf, dass die konzipierte und in Deutschland erstmals angewendete Methodik, mittels mobilen Messfahrzeugs SNIFFER Schadstoffkonzentrationen und insbesondere ein Maß für die nicht motorbedingten PM10-Emissionen auf einem Straßennetz zu gewinnen, gut anwendbar war. Insbesondere das unterschiedliche Immissionsverhalten auf einer Viel-

zahl unterschiedlicher Straßenabschnitte konnte untersucht werden. Ohne dieses Messfahrzeug wäre dies nur durch viele punktuelle Messungen möglich gewesen.

Unabhängig davon basieren die bisherigen Auswertungen aber nur auf einem Messdatensatz von 3 Wochen. Insbesondere der analysierte Einfluss von unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen und Verkehrssituationen sollte durch längere Messreihen mit dem SNIFFER-Fahrzeug stärker statistisch abgesichert werden. So könnte z. B. eine Wiederholung der Messung in Halle klären, ob die Ergebnisse reproduziert werden können. Die größten Unterschiede wurden zwischen der Situation auf der (schlechten) Turmstraße und den anderen Straßenabschnitten beobachtet. Mittlerweile erhielt die Turmstraße einen neuen Asphaltbelag. Dies würde bei einer Wiederholungsmessung ermöglichen, mit SNIFFER die Situation vor und nach der Fahrbahnsanierung zu untersuchen und die Frage zu beantworten, ob sich mit diesem Messverfahren die aus verschiedenen Immissionsmessungen abgeleitete Reduktion der nicht motorbedingten PM10-Emissionen durch eine Fahrbahnsanierung nachweisen lässt.

In der Raffineriestraße ist zu erkennen, dass die Rollbereiche der Fahrbahn deutlich glatter sind als die anderen Bereiche der Fahrbahn (dort ist der Belag noch rau). Interessant wäre zu untersuchen, ob SNIFFER für die noch nicht glattgefahrenen Bereiche ein anderes Emissionssignal liefert.

Außerordentlich interessant wäre auch der Einsatz von SNIFFER auf einem Straßennetz im Bereich

einer anderen, deutlich höher PM10-belasteten Messstelle (z. B. Stuttgart-Neckartor).

Der durch die Messkampagne erzeugte Datensatz wurde gemäß der Aufgabenstellung des Projektes ausgewertet. Der vorliegende umfangreiche Datensatz ist allerdings geeignet, weitere Fragestellungen zu bearbeiten. Diese sind:

Vergleich der nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emission zwischen Innerortsverkehrssituationen und Autobahn

Das derzeit aktuelle PM10-Emissionsmodell weist für Autobahnen deutlich niedrigere Emissionsfaktoren aus als für Innerortsverkehrssituationen mit eingeschränktem Verkehrsfluss. Messdaten an Autobahnen mit Betonfahrbahn liegen bisher nicht vor.

An mehreren Tagen wurden neben dem genannten Straßennetz in Halle mit SNIFFER auch Autobahnabschnitte der A 14 zwischen Halle-Peißen und Tornaubeprobirt. Die Fahrbahnoberfläche ist dort Beton. Die SNIFFER-Messdaten könnten für diese BAB-Abschnitte ausgewertet werden.

Einfluss der Bebauungsdichte auf die nicht motorbedingte PM10-Emission

Es gibt unter den Fachleuten Diskussionen, ob durch die bei dichter Randbebauung eingeschränkte Durchlüftung ggf. bereits aufgewirbelter Straßentaub sich wieder auf der Straße ablagern kann und somit wieder für Aufwirbelungen zur Verfügung steht. Die PM10-Emissionen wären dann bei gleicher Verkehrsstärke und Verkehrssituation in Bereichen mit eingeschränkter Durchlüftung quasi höher als in Bereichen mit guter Durchlüftung. Der oben diskutierte Unterschied zwischen der Situation auf der Turmstraße und den anderen Straßen weist möglicherweise in diese Richtung.

Auf dem beprobten Straßennetz gibt es entlang verschiedener Straßen bei gleicher Verkehrsmenge, Verkehrssituation und Fahrbahnqualität unterschiedliche Bebauungsdichten. Die SNIFFER-Messdaten könnten für diese Straßenabschnitte bzgl. der Korrelation zu den Bebauungsdichten ausgewertet werden.

Einfluss der Verkehrsmenge auf die nicht motorbedingte PM10-Emission

Es gibt Hinweise, dass die Staubaufwirbelung durch die fahrzeugezeugte Turbulenz neben dem

Verkehrsfluss auch von der Verkehrsmenge abhängig ist. Systematische Untersuchungen dazu existieren nicht.

In Halle wurde das Straßennetz jeden Tag (auch Samstag und Sonntag) zu 4 Terminen (3.00, 7.00, 12.00 und 17.00 Uhr) beprobirt. Durch die detaillierten kontinuierlichen Verkehrszählungen liegen die Tages- und Wochengänge des Verkehrs vor. Die SNIFFER-Messdaten könnten deshalb für jeden Straßenabschnitt bzgl. der Korrelation zu den Verkehrsmengen ausgewertet werden.

Einfluss verkehrsberuhigender Maßnahmen auf die NO_x-Belastung

Im derzeitigen Untersuchungsumfang ist die Auswertung der PM10-Daten enthalten. Ab 2010 sind die Grenzwerte für NO₂ einzuhalten. Nach derzeitigem Ermessen wird dies an stark befahrenen Hauptverkehrsstraßen sehr schwer sein, sodass auch für NO_x Minderungsmaßnahmen gesucht werden. Eine Maßnahme, die in LRP auch für NO_x häufig genannt wird, ist die Geschwindigkeitsreduktion.

Auf dem in Halle beprobten Straßennetz wurden auch die NO_x-Konzentrationen für die Situation mit und ohne verkehrsberuhigender Maßnahmen erfasst. Diese könnten bzgl. deren Einflüssen auf die NO_x-Konzentration ausgewertet werden.

9 Danksagung

Wir danken dem BMVBS und der BAST für die Möglichkeit, dieses Projekt und insbesondere die innovative Methodik des deutschlandweit erstmaligen Einsatzes des mobilen Messfahrzeuges SNIFFER durchführen zu können.

Wir danken der fachlichen Betreuergruppe (Fr. Baum, Fr. Rauterberg-Wulff, Hr. U. Friedrich und Hr. Benz) für die kritische und konstruktive Diskussion der Ergebnisse und des Berichtes.

Wir danken der Stadt Halle, und dort insbesondere Fr. Lange, für die perfekte Organisation und Koordination der verkehrsberuhigenden Maßnahmen und für die Durchführung von Verkehrszählungen und die Bereitstellung dieser Daten.

Wir danken ebenfalls dem Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt für die Bereitstellung von umfangreichen Konzentrations- und meteorologischen Messdaten.

10 Literatur

- ADAC (1995): Tempo 30, Low-Cost-Maßnahmen für die Praxis. Hrsg.: ADAC e. V., München
22. BImSchV (2007): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 22. BImSchV, Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft vom 11. September 2002 (BGBl. I S. 3626), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 241)
- BAST (1990): Erfahrungsberichte über Zonen-Geschwindigkeitsbeschränkungen. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 1
- BAST (2006): Bewertung von Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft und deren schadstoffmindernde Wirkung. Hrsg.: AVISO – Aachener-Verkehrs-Ingenieur-Sozietät, Aachen
- BMBau, BMV, BMUNR (1992): Forschungsvorhaben Flächenhafte Verkehrsberuhigung – Folgerungen für die Praxis. Bonn
- BMV (1991): Flächenhafte Verkehrsberuhigung – Auswirkungen auf den Verkehr. Hrsg.: Bundesminister für Verkehr. In: Forschung Stadtverkehr, Aachen/Bonn, 1991
- BRINGFIELT, B., BACKSTRÖM, H., KINDELL, S., OMSTEDT, G., PERSSON, C., ULLERSTIG, A. (1997): Calculations of PM10-concentrations in Swedish cities – Modelling of inhalable particles. Published by Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden (Report number RMK No. 76)
- CORINAIR (2006): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidbook – 2006. EEA (European Environment Agency). Publish date: 21 Dec 2006. In: Technical report No 11/2006
- DAVID, A., NIEDERMEIER, M. (2005): ADAC-Test Partikelemissionen: Vergleich Partikelfilter/Grüne Welle. Hrsg.: ADAC e. V., Verkehrspolitik und Verbraucherschutz (VEP), Juni 2005
- ETHEMEZIAN, V., KUHNS, H., GILLIES, J., CHOW, J., HENDRICKSON, K., MCGOWN, M., PITCHFORD, M. (2003): Vehicle-based road dust emission measurement (III): effect of speed, traffic volume, location, and season on PM10 road dust emissions in the Treasure Valley, ID. Atmospheric Environment 37 (2003) 4583-4593
- FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Köln (2001): Arbeitspapiere zur Systematik der Straßenerhaltung AP9, Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberflächen von Straßen (ZEB), Erhaltungsplanung. Ausgabe 2001
- FGSV (2004): Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung, MLuS 02. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- FITZ, D. R. (2001): Measurements of PM10 and PM2.5 emission factors from paved roads in California. Final Report Contract No. 98-723. California Air Resources Board Monitoring and Laboratory Division, 1001 I Street, Sacramento, CA 95812, 02-AP-18381-003-FR, June 2001
- GUSTAFSSON, M. (2001): Non-exhaust particles in the road environment. A literature review. Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping Sweden. ISSN: 0347-6049
- GUSTAFSSON, M. (2005): PM10 from road pavement and winter tyre interaction. Transport and Environment, Workshop on SMHI, persönliche Mitteilung
- HITZENBERGER, R., BERNER, A., GALAMBOS, Z., MAENHAUT, W., CAFMEYER, J., SCHWARZ, J., MÜLLER, K., SPINDLER, G., WIEPRECHT, W., ACKER, K., HILLAMO, R., MÄKELÄ, T. (2004): Intercomparison of methods to measure the mass concentration of the atmospheric aerosol during INTERCOMP2000 – influence of instrumentation and size cuts. Atmospheric Environment 38, 6467-6476
- IFEU (2005): Feinstaub – Verkehrliche Maßnahmen und ihre Wirkung. Hrsg.: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Darmstadt
- KELLER, M., De HAAN, P. (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Dokumentation, Bern/Heidelberg/Graz/Essen
- KUPIAINEN, K., PIRJOLA, L., TERVAHATTU, H. (2005): Mobile measurements of spring-time street dust in Helsinki, Finland. Report Series in aerosol Science 77, 77-83

- KUPIAINEN K., PIRJOLA, L., STOJILJKOVIC, A., MALINEN, A., PORTIN, H., DÜRING, I. (2008): Effects of speed reduction measures in Halle (Saale) on road dust- (PM10 and PM2.5) and NO_x-emissions – Measurements with the mobile air pollution laboratory SNIFFER in Spring 2008. Final report Oktober 2008
- Kuratorium für Verkehrssicherheit (2004): Verkehr in Österreich, Verkehrsgrundlegendaten-Unfallstatistik 2000 bis 2003, Wien
- LÄTZSCH, L., KUSS, S. (1997): Untersuchung zum Fahrverhalten von Straßennebennetzen bei Vorfahrtregelung „rechts vor links“, TU Dresden, Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik
- LfU Bayern (2003): Erkenntnisse des Projektes WIME – Wirksamkeit von verkehrsbezogenen Maßnahmen auf die Emissionen von Partikeln, Benzol und Stickstoffdioxid, Luftreinhaltepläne in Bayern (Vollzug § 47 BImSchG). Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Juli 2003
- LOHMEYER (2001): Validierung von PM10-Immissionsberechnung im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Straßen. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Kupiainen, Radebeul. Projekt 2286C, Juni 2001. Gutachten im Auftrag von: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin, und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Herunterladbar unter <http://www.lohmeyer.de/literatur.htm>
- LOHMEYER (2003): Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelungen und Abrieb von Straßen auf Basis vorhandener Messdaten. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Karlsruhe unter Mitarbeit von UMEG Karlsruhe und IFEU Heidelberg. Projekt 1772, Februar 2003. Gutachten im Auftrag von: Ministerium für Umwelt und Verkehr, Stuttgart. Herunterladbar unter www.LOHMEYER.de/literatur.htm
- LOHMEYER (2004a): FE 2.222/2002/LRB PM10-Emissionen an Außerortsstraßen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70016-03-10, Juni 2004. Schlussbericht im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- LOHMEYER (2004b): Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abriebs für das Emissionskataster Sachsen. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Radebeul unter Mitarbeit der IFEU Heidelberg GmbH und der TU Dresden, Institut für Verkehrsökologie. Projekt 2546, November 2004. Gutachten im Auftrag von: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Herunterladbar unter <http://www.LOHMEYER.de/Literatur.htm>
- LOHMEYER (2008): Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG in Zusammenarbeit mit IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften. Projekt 70227-05-10, Januar 2008. Gutachten im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- LUTZ, M., TULLIUS, K. (2003): Abschlussbericht zum EU-Projekt HEAVEN D8.9-Demonstration, Berlin
- MAZUR, H., LAUENSTEIN, D. (1998): Erfahrungen mit Tempo 30 – Planung, Umsetzung, Umweltauswirkungen der Verkehrsberuhigung. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin
- PIRJOLA, L., PARVIAINEN, H., HUSSEIN, T., VALLI, A., HÄMERI, K., AALTO, P., VIRTANEN, A., KESKINEN, J., PAKKANEN, T., MÄKELÄ, T., HILLAMO, R. (2004a): „SNIFFER“ – a novel tool for chasing vehicles and measuring traffic pollutants. *Atmospheric Environment* 38, 3625-3635
- PIRJOLA, L., PARVIAINEN, H., LAPPI, M., HÄMERI, K., HUSSEIN, T. (2004b): A novel mobile laboratory for „chasing“ city traffic. SAE-paper, no 2004-01-1962
- PIRJOLA, L., KUPIAINEN, K., TERVAHATTU, H. (2007): The Mobile Laboratory „Sniffer“ for Non-exhaust Emission Measurements: Validation of the System and the First Results. In: Ranjeet S. SOKHI and Marina NEOPHYTOU (eds.): Proceedings of the 6th International Conference on Urban Air Quality, Limassol, Cyprus 27-29 March 2007, University of Hertfordshire
- PIRJOLA, L., KUPIAINEN, K. J., PERHONIEMI, P., TERVAHATTU, H., VESALA, H. (2008): Non-exhaust emission measurement system of the mobile laboratory SNIFFER. *Atmospheric Environment* (in press)

- RETZKO, H.-G., KORDA, C. (2000): Auswirkungen unterschiedlicher zulässiger Höchstgeschwindigkeiten auf städtischen Verkehrsstraßen – Ein Beitrag zur Tempo 30-Diskussion. In: Straßenverkehrstechnik, Heft 2, Darmstadt/Nürnberg
- RAUTERBERG-WULFF (2009): Persönliche Mitteilung vom 01.07.2009, siehe auch <http://www.proneteurope.eu/?page=presentations5>
- SÄHN, E., KLINGNER, M. (2006): Auswirkungen ordnungsrechtlicher Verkehrsmaßnahmen auf die lokale Feinstaubbelastung unter Berücksichtigung meteorologischer Einflüsse. Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Dresden, September 2006
- SCHICK, P. (1998): Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen auf die Lärmbelastung. Diplomarbeit an der Universität Innsbruck, Institut für Straßenbau und Verkehrsplanung, Innsbruck
- SCHULZE, E. (2002): Räumliche und zeitliche Analyse von kontinuierlichen Luftschadstoffmessungen in Berlin. Einfluss von Regen und Luftfeuchte auf die PM10-Emission und -Immission. Diplomarbeit an der Technischen Universität Dresden, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Landschafts- und Geoökologie zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Geografin
- SIEKER, F., GROTTKER, M. (1988): Beschaffenheit von Straßenoberflächenwasser bei mittlerer Verkehrsbelastung. Bericht der Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtsch. Wasserbau, Juni 1987, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 530, 1988. Hrsg. BMV, Abt. Straßenbau, Bonn
- SMHI (2002): Nordic model workshop held at Arkö, Norrköping, March 5-6, 2002. Report edited by SMHI Workshop and report financed by the Swedish Environmental Protection Agency, August 30, 2002
- TIEFENTHALER, H. (2005): Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Straßen in Ortsgebieten – Wissenschaftliche Entscheidungsgrundlagen. Im Auftrag der Tiroler Landesregierung, Innsbruck
- TOPP, H. (1992): Konzepte flächenhafter Verkehrsberuhigung in 16 Städten. Hrsg.: Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Verkehrswesen, Grüne Reihe, Heft 24, Kaiserslautern
- UBA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1/April 2004. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg: Umweltbundesamt Berlin. Herunterladbar unter <http://www.hbefa.net/>
- UBA (2007): Verbesserung der Umweltqualität in Kommunen durch geschwindigkeitsbeeinflussende Maßnahmen auf Hauptverkehrsstraßen. Forschungsbericht. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau
- WALDEER, T. (1999): Diskussion von Verkehrsgrößen anhand von Messungen. Technischer Report der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachbereich Transport- und Verkehrswesen.

Weitere gesichtete und zum Teil verwendete Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Luftreinhalteplan für die Stadt München, München, 2004
- Beiträge zur Stadtentwicklung, Stadtplanung und zum Bauwesen: Für Bonn Tempo 30, Bonn, 1992
- Beratungsstelle für Schadensverhütung des HUK-Verbandes: Verkehrsberuhigung in Köln – Ziele, Maßnahmen. Erwartungen, Kritik, Wirkungen, Dokumente und Diskussionsbeiträge zur Stadterneuerung Köln, Schriftenreihe Band 1, Köln, 1987
- Bezirksregierung Köln: Luftreinhalteplan der Bezirksregierung Köln für die Stadt Köln, Köln, 2006
- Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumforschung: 3. Kolloquium, Forschungsvorhaben „Flächenhafte Verkehrsberuhigung, Erste Erfahrungen aus der Praxis“, Berlin, 1985
- Fachgebietsverkehrswesen, Universität Kaiserslautern: Modellvorhaben Flächenhafte Verkehrsbe-

- ruhigung, Juliane Krause, Grüne Reihe, Heft 21, Kaiserslautern, 1991
- Fachgebietsverkehrswesen, Universität Kaiserslautern: Leistungsfähigkeit innerörtlicher Hauptverkehrsstraßen im motorisierten Individualverkehr bei verschiedenen Geschwindigkeiten, Frank SCHLEICHER-JESIER, Grüne Reihe, Heft 32, Kaiserslautern, 1995
- Fachgebietsverkehrswesen, Universität Kaiserslautern: Modellvorhaben: Stadtverträgliche Kfz-Geschwindigkeiten Kaiserslautern, Kaiserslautern, 1995
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Anforderungen an Eingangsdaten für verkehrsbedingte Immissionsprognosen, Karlsruhe, 2003
- Magistrat der Stadt Frankfurt am Main: Tempo 30 – Leitfaden, 50 Seiten für Tempo 30, Frankfurt am Main, 1990
- Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen: Tempo 30 jetzt, Düsseldorf, Oktober 1992
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt: Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Ballungsraum Halle 2005, Magdeburg, 2006
- Niedersächsisches Umweltministerium: Luftreinhalte- und Aktionsplan Braunschweig, Hannover, 2007
- Niedersächsisches Umweltministerium: Luftreinhalte- und Aktionsplan Hannover, Hannover, 2007
- Regierungspräsidium Stuttgart: Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart – Teilplan Heilbronn, Stuttgart, 2007
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig, Dresden, 2005
- SCHREFEL, C., HAJSZAN, R.: Erfahrungen mit PM10-Reduktionsmaßnahmen in Europa – Recherche von PM10-Aktionsplänen, Magistrat der Stadt Wien, 2005
- Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim: Maßnahmen Luftreinhalte- und Aktionsplan Hannover Göttinger Straße – Auswertung des 1. Feldversuches, Nachhaltiges Niedersachsen 37, Hildesheim, 2005
- Stadt Mainz: Verkehrsberuhigung in Mainz, Dokumentation von Beispielen, Information des Amtes für Verkehrswesen, Mainz, 1997
- Thüringer Landesverwaltungsamt: Luftreinhalteplan Erfurt, Weimar, 2004
- Umweltbundesamt (UBA): Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Berlin, 1999
- Umweltbundesamt (UBA): Verkehrliche Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub – Möglichkeiten und Minderungspotenziale, Studie, Dessau, 2006

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2005

- V 111: Autobahnverzeichnis 2004 (erschienen 2005)
Kühnen € 21,50
- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum – Band 1 bis Band 5
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simović, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM₁₀-Emissionen an Außenortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Bösinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klemps, Schäfer, Schuckliß € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02
Steven € 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00

- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50
- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßenverkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättmeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

2007

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kommunalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klöckner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers, Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbaumaßnahmen
Wirtz € 13,50

- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50
- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems- und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch, Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00
- V 174: Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM_x-Belastung an Straßen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Düring, Lohmeyer, Moldenhauer, Knörr, Kutzner, Becker, Richter, Schmidt € 29,00
- V 175: Maßnahmen gegen die psychischen Belastungen des Personals des Straßenbetriebsdienstes
Fastenmeier, Eggerdinger, Goldstein € 14,50

2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50

- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen € 13,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes
Kirschfink, Aretz € 16,50

2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM₁₀-Belastung an Straßen
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.