

Anhang 3 zu:

Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

von

Volker Diegmann
Heike Wursthorn
Yvonne Breitenbach
IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Ingo Düring
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul

Jörg Schönharting
TRC Transportation Research & Consulting GmbH,
Stuttgart

Thomas Kraus
pwp-systems GmbH, Bad Camberg

Patrick Klemm
Rainer Voigt
Ralf Kohlen
VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH

Holger Löhner
WVI GmbH, Braunschweig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 321 – Anhang 3

bast

Anlage 3 zum Bericht

FE 70.0912/2015 Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

für die

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

von der Arbeitsgemeinschaft

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Straße 2
79110 Freiburg

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG
Mohrenstraße 14
01445 Radebeul

TRC GmbH
Stoßäckerstraße 55
70563 Stuttgart

und als Unterauftragnehmer

pwp-systems GmbH
Prießnitzstraße 11
65520 Bad Camberg

VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH
Ullsteinstraße 114
12109 Berlin

WVI GmbH
Nordstraße 11
38106 Braunschweig

Anlage 3 zum Bericht

FE 70.0912/2015 Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement

für die

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach

Bearbeitet von:

Volker Diegmann, Heike Wursthorn, Yvonne Breitenbach, IVU
Dr. Ingo Düring, LOH
Prof. em. Dr. techn. Jörg Schönharting
Thomas Kraus, pwp
Patrick Klemm, Rainer Voigt, Dr. Ralf Kohlen, VMZ
Holger Löhner, WVI

Vorgelegt am 20.08.2018

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung	13
2	Evaluierungsergebnisse aus den Untersuchungsgebieten	14
2.1	Braunschweig	14
2.1.1	Vorgehensweise zur Evaluation	14
2.1.2	Ergebnisse	17
2.1.3	Fazit	21
2.2	Erfurt	22
2.2.1	Vorgehensweise zur Evaluation	22
2.2.2	Ergebnisse	24
2.2.3	Fazit	36
2.3	Potsdam	37
2.3.1	Vorgehensweise zur Evaluation	37
2.3.2	Ergebnisse	39
2.3.3	Fazit	45
2.4	Wittenberg	46
2.4.1	Vorgehensweise zur Evaluation	46
2.4.2	Ergebnisse	46
2.4.3	Fazit	50
2.5	Steiermark	51
2.5.1	Vorgehensweise zur Evaluation	51
2.5.2	Ergebnisse	52
2.5.3	Verkehr	52
2.5.4	Umwelt	53
2.5.5	Datenbereitstellung durch ASFINAG	55
3	Analyse der Schwellenwerte zur Auslösung der Maßnahmen	57
3.1	Braunschweig	58
3.1.1	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation der NO ₂ - Schwellenwerte	58
3.1.2	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation der Verkehrsstärke- Schwellenwerte	60
3.1.3	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation des Verkehrszustandes	63
3.2	Erfurt	66
3.2.1	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten im Basisfall	66
3.2.2	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation der NO ₂ - Schwellenwerte	67
3.2.3	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation der Verkehrsstärke- Schwellenwerte	68
3.2.4	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation des Verkehrszustandes	69
3.2.5	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation von Schwellenwertkombinationen	70

3.2.6	Diskussion	70
3.3	Potsdam	72
3.3.1	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation der NO ₂ - Schwellenwerte	72
3.3.2	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation der Verkehrsstärke- Schwellenwerte	74
3.3.3	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation des Verkehrszustandes	80
3.3.4	Aktivierungs- und NO ₂ -Minderungsraten bei Variation von Schwellenwertkombinationen	81
3.4	Lutherstadt Wittenberg	84
3.4.1	Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten im Basisfall	84
3.4.2	Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der PM10- Auslöseschwelle	85
3.4.3	Diskussion der Ergebnisse	86
3.5	Steiermark / Österreich	87
4	Analyse der Verfügbarkeit von Eingangsdaten für die Modellierung	92
4.1	Eingangsdaten für die Verkehrsmodellierung	93
4.1.1	Braunschweig	93
4.1.2	Erfurt	97
4.2	Eingangsdaten für die Emissionsmodellierung	98
4.2.1	Potsdam	98
4.2.2	Sensitivität der Ergebnisse	99
4.3	Eingangsdaten für die Ausbreitungsmodellierung	99
4.3.1	Braunschweig	99
4.3.2	Potsdam	100
5	Analyse der Qualität von Eingangsdaten	101
5.1	Einfluss der Lkw-Anteile	101
5.1.1	Braunschweig	101
5.1.2	Erfurt	104
5.1.3	Potsdam	105
5.1.4	Wittenberg	105
5.2	Einfluss der Berechnung des Level-Of-Service (LOS)	106
5.2.1	Braunschweig	106
5.2.2	Erfurt	106
5.2.3	Potsdam	107
5.2.4	Wittenberg	108
5.3	Meteorologie (Wind, Regen, Inversion)	108
5.3.1	Ausbreitungsmodelle	108
5.3.2	Statistische Vorhersagemodelle	108
6	Anforderungen an die zeitliche Auflösung	111
6.1	Monitoring Braunschweig	111

6.2	Monitoring Erfurt	112
6.3	Monitoring Potsdam	113
6.3.1	Verkehrsdaten	113
6.3.2	Modellevaluierung	114
6.3.3	Schwellenwertanalyse	115
6.4	Vorhersage Wittenberg	116
7	Evaluierung von Vorhersagen	117
7.1	Braunschweig	117
7.1.1	Verkehr	118
7.1.2	Meteorologie	119
7.1.3	Vorhersage der Hintergrundbelastung	124
7.1.4	Vorhersagedaten für Immissionsbelastung im Hotspot	128
7.1.5	Aktivierungs- und Minderungsraten unter Nutzung der Kurzfristvorhersage im Vergleich zum Basisfall	131
7.2	Wittenberg	132
7.2.1	Vergleich der Tages- und Vortagesvorhersage mit Basisfall	132
7.2.2	Aktivierungs- und Minderungsraten unter Nutzung der Tagesvorhersage im Vergleich zum Basisfall	132
7.2.3	Aktivierungs- und Minderungsraten unter Nutzung der Vortagesvorhersage im Vergleich zum Basisfall	132
8	Befolgungsraten	134
8.1	Maßnahmen für die eine Befolgungsrate relevant ist	135
8.2	LKW-Umleitungen (Maßnahmen ID_MN 45)	136
8.2.1	Wittenberg	136
8.2.2	Umleitung von Lkw-Verkehrsströmen in Hagen	138
8.2.3	Lkw-Durchfahrtsverbot für Stuttgart	139
8.3	Einhaltung von Tempolimits (Maßnahmen ID_MN 17, 18, 19, 124, 130)	140
8.3.1	Halle/Merseburger Straße (Innerorts T30 auf HVS)	140
8.3.2	Erfurt/Bergstraße (Innerorts T30 auf HVS)	140
8.3.3	Schildhornstraße/Berlin (Innerorts T30 auf HVS)	141
8.4	Verkehrsmittelwahl (Park & Ride, Infotafeln)	142
8.5	Weitere Maßnahmen	144
9	Literatur	150

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Überblick UVM-Maßnahme Altewiekring (Bellis)	14
Abbildung 2-2:	Schema der lufthygienischen Wirkungsanalyse mit dem Umweltmonitoringsystem IMMIS ^{mt}	17
Abbildung 2-3:	Weg-Zeit-Diagramm für die GPS-Messfahrten im Feldtest 2015 Fahrtrichtung von Nord nach Süd	18
Abbildung 2-4:	Beispielhafte Auswertung zur Verkehrsqualität aus Google Maps	19
Abbildung 2-5:	Modellierte Zeitreihe der NO ₂ -Konzentration im Altewiekring während im Zeitraum des Feldversuchs zur Maßnahme (oMN – ohne Maßnahme; mMN - mit Maßnahme)	21
Abbildung 2-6:	UVM-EF – Schematische Systemübersicht	24
Abbildung 2-7:	UVM-EF – Szenarien-Einsatz im zeitlichen Verlauf	25
Abbildung 2-8:	UVM-EF – Szenarien-Einsatz nach Zeitanteilen	26
Abbildung 2-9:	UVM-EF – Szenarien-Einsatz im zeitlichen Verlauf	27
Abbildung 2-10:	UVM-EF – Szenarien-Einsatz nach Tageskategorien	28
Abbildung 2-11:	UVM-EF – Zeitanteile der Verkehrsdichte nach Szenarien	29
Abbildung 2-12:	UVM-EF – Zeitanteile und Verkehrsbelastungen nach Szenarien	29
Abbildung 2-13:	UVM-EF – Zeitanteile der Verkehrsdichte nach Szenarien – Abschnitt A1b	30
Abbildung 2-14:	UVM-EF – Zeitanteile der Verkehrsdichte nach Szenarien – Abschnitt A2	31
Abbildung 2-15:	UVM-EF – Zeitanteile und Verkehrsbelastungen nach Szenarien – Spitzenstunden (Mo-Fr, 06:30-08:30 Uhr, ohne Ferien)	32
Abbildung 2-16:	UVM-EF – Zeitanteile und Verkehrsbelastungen nach Szenarien – Jahreswerte (Mo-So, 00:00-24:00 Uhr)	32
Abbildung 2-17:	UVM-EF – Zeitanteile des LOS im Szenarienvergleich	33
Abbildung 2-18:	UVM-EF – Emissionsseitige Wirkungen – Pilot I	34
Abbildung 2-19:	UVM-EF – Immissionsseitige Wirkungen – Pilot I	34
Abbildung 2-20:	UVM-EF – Emissionsseitige Wirkungen – Pilot II	35
Abbildung 2-21:	UVM-EF – Immissionsseitige Wirkungen – Pilot II	36
Abbildung 2-22:	Szenarien der Wirkungsanalyse in Potsdam	38
Abbildung 2-23:	Tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen 2013/2014 im Regelbereich 5 - Behlertstraße	40
Abbildung 2-24:	Tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen 2013/2014 im Regelbereich 2 – Zeppelinstraße-Breite Straße	40
Abbildung 2-25:	Tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen 2013/2014 Anzeigetafel AT1: Regelbereich 5 (Behlertstraße)	41
Abbildung 2-26:	Verteilung der Kfz-Verkehrsstärken in der Behlertstraße	43
Abbildung 2-27:	Tage mit Aktivierung der LKW-Umfahrung in Wittenberg	50
Abbildung 2-28:	Darstellung der Teilkorridore und Messpunkte für die Verkehrserhebungen	52
Abbildung 2-29:	Schalzhäufigkeiten 2014-2015 der VBA Umwelt Steiermark (Land Steiermark, 2016)	54
Abbildung 2-30:	Gegenüberstellung der prognostizierten halbstündigen PM ₁₀ -Konzentrationen zu den Messungen in den vier Teilkorridoren.	56
Abbildung 3-1:	mittlere Wochenganglinie der Verkehrsstärke am Querschnitt Altewiekring in 2015	60
Abbildung 3-2:	Minimale, mittlere und maximale Verkehrsstärke je Tagesstunde am Querschnitt Altewiekring in 2015	61

Abbildung 3-3:	Minimale, mittlere und maximale Verkehrsstärke im Schwerverkehr je Tagesstunde am Querschnitt Altewiekring in 2015	63
Abbildung 3-4:	Mittlere Anteile LOS 3 und 4 je Tagesstunde am Querschnitt Altewiekring in 2015	64
Abbildung 3-5:	Stundenweiser Vergleich der Anteile LOS 3 und 4 zur Verkehrsstärke [Kfz/h] aus ViBS ^{mt} 2015	65
Abbildung 3-6:	UVM-EF – Häufigkeit der Konzentrationsklassen	66
Abbildung 3-7:	UVM-EF – Aktivierungsanzahl im Basisfall	67
Abbildung 3-8:	UVM-EF – Variation Stickstoffdioxid	67
Abbildung 3-9:	UVM-EF – Tagesganglinien Verkehrsstärke Bergstraße	68
Abbildung 3-10:	UVM-EF – Variation Verkehrsstärke	68
Abbildung 3-11:	UVM-EF	69
Abbildung 3-12:	UVM-EF – Variation Verkehrszustand	70
Abbildung 3-13:	UVM-EF – Variation Stickstoffdioxid und Verkehrsstärke	70
Abbildung 3-14:	Bandbreite der Kfz-Verkehrsstärken im Tagesverlauf (Behlertstraße in Potsdam)	74
Abbildung 3-15:	Bandbreite der Kfz-Verkehrsstärken im Tagesverlauf (Zeppelinstraße stadteinwärts in Potsdam)	75
Abbildung 3-16:	Empirischer Zusammenhang zwischen der Veränderung der Kfz-Verkehrsstärke und der NO _x -Zusatzbelastung für den Hotspot Behlertstraße	77
Abbildung 3-17:	Veränderung der Tagesganglinie infolge des Rückstaus bei Drosselung	79
Abbildung 3-18:	Gemessene PM10-Tagesmittelwerte für das Basisjahr 2014 in Wittenberg. HG WGCC=Städtischer Hintergrundwert. ZB=Messwert Dessauer Straße minus Hintergrundwert.	84
Abbildung 3-19:	Nullfallkonzentrationen an der Messstelle Dessauer Straße in Wittenberg für den 1.1. bis 15.4.2014. Erläuterung siehe Text.	85
Abbildung 3-20:	Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO _x -Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor Ost	88
Abbildung 3-21:	Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO _x -Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor West	89
Abbildung 3-22:	Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO _x -Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor Süd	90
Abbildung 3-23:	Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO _x -Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor Nord	91
Abbildung 4-1:	Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zur Detektion am Querschnitt MS 129/130	94
Abbildung 4-2:	Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zum Monitoring mit statischem Netzmodell am Querschnitt MS 129/130	95
Abbildung 4-3:	Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zum Monitoring mit statischem Netzmodell am Querschnitt MS 154/155 (Rebenring)	96
Abbildung 4-4:	Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zur Modellierung ohne Berücksichtigung von Detektionsdaten am Querschnitt MS 129/130	97

Abbildung 4-5:	Beispiel für die Darstellung der Verkehrsqualität im Fundamentaldiagramm, hier: Behlertstraße nach Einführung der UVS (Q4/2013)	98
Abbildung 5-1:	Ganglinien der stündlichen Verkehrsstärken (alle Kfz) am Querschnitt Altewiekring (MS 129/130)	102
Abbildung 5-2:	Vergleich der stündlichen Verkehrsstärken im Schwerverkehr zwischen Referenzmessung und TEU-Detektion (MS 129/130)	103
Abbildung 5-3:	Vergleich der stündlichen Verkehrsstärken im Schwerverkehr zwischen Referenzmessung und Monitoring (MS 129/130)	103
Abbildung 5-4:	Ganglinien der stündlichen Verkehrsstärken des Schwerverkehrs am Querschnitt Altewiekring (MS 129/130)	104
Abbildung 5-5:	Fundamentaldiagramm Behlertstraße vor und nach Einführung Tempo 30	107
Abbildung 6-1:	Streudiagramm der gemessenen und modellierten NO ₂ -Immissionen, links als Halbstundenwerte, rechts als Stundenwerte	115
Abbildung 6-2:	Streudiagramm der gemessenen und modellierten NO _x -Immissionen, links als Halbstundenwerte, rechts als Stundenwerte	115
Abbildung 7-1:	Stundenweiser Vergleich der Verkehrsstärke [Kfz/h] aus ViBS ^{mt} Vorhersage zu Ist-Werte im zweiten Halbjahr 2015	118
Abbildung 7-2:	Zeitreihe der gemessenen Temperatur aus dem Monitoring (rot) und der Kurzfristprognose (blau) für die 1. Prognosestunde	120
Abbildung 7-3:	Streudiagramm der Temperatur (l.) und Windgeschwindigkeit (r.) aus dem Monitoring (x-Achse) und der Kurzfristprognose (y-Achse) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde	121
Abbildung 7-4:	Streudiagramm der Globalstrahlung aus dem Monitoring (x-Achse) und der Kurzfristprognose (y-Achse) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde	123
Abbildung 7-5:	Streudiagramm der Windrichtung aus dem Monitoring (x-Achse) und der Kurzfristprognose (y-Achse) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde	124
Abbildung 7-6:	Streudiagramm der für die Station Braunschweig/Broitzem (BGSW) prognostizierten Hintergrundbelastung (NO _x , NO ₂ , PM10 und O ₃) und Messdaten am Beispiel der 1. Prognosestunde.	125
Abbildung 7-7:	Streudiagramm der gemessenen und prognostizierten Hintergrundbelastung (O ₃ links, NO _x rechts) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde	126
Abbildung 7-8:	Wochenganglinien für O ₃ (links) & NO _x (rechts) für 1.-3. Prognosestunde	127
Abbildung 7-9:	Streudiagramm der gemessenen und prognostizierten Immissionen (NO ₂ links, PM10 rechts) am Altewiekring für die 1., 2. und 3. Prognosestunde	129
Abbildung 8-1:	Vergleich der Lkw-Zahlen in der Dessauer Str. / Dobschützstraße (LAU Sachsen-Anhalt, 2009)	138
Abbildung 8-2:	mittlere Tagesgänge des Lkw-Verkehrs (Märkischer Ring, Hagen) ohne und mit Umleitung	139
Abbildung 8-3:	Verteilung der lokalen Kfz-Geschwindigkeit am MQS Talstraße	141
Abbildung 8-4:	Verteilung der lokalen Kfz-Geschwindigkeit am Messquerschnitt Schildhornstraße	142
Abbildung 8-5:	Entwicklung der Durchschnittsgeschwindigkeit nach Einführung von Tempo 30 statt 50 auf 19 HVS in Berlin (Heinrichs, 2012)	145

- Abbildung 8-6: Verteilung der Geschwindigkeiten mit und ohne polizeilicher Überwachung für die Schildhornstraße, Berlin (Heinrichs, 2012) 145
- Abbildung 8-7: Entwicklung der mittleren Geschwindigkeiten nach Einführung von T40 statt T50 auf der Hohenheimer Straße in Stuttgart bergauf (blau: rechter Fahrstreifen, rot: linker Fahrstreifen). 147

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1:	Schaltzeiten UVM-Maßnahme Altewiekring im Juni 2015	15
Tabelle 2-2:	Baustellenbedingte Veränderungen der täglichen Verkehrsstärken am Altewiekring im Feldtestzeitraum	15
Tabelle 2-3:	Vergleich der Reisezeiten mit und ohne UVM-Maßname für Mikrosimulation und Messung	20
Tabelle 2-4:	Mittlere Wirkung der Maßnahme auf die Kfz-Emissionen im Altewiekring in Braunschweig	21
Tabelle 2-5:	Gegenüberstellung der UVS-Schaltungen in den Regelbereichen	39
Tabelle 2-6:	Jahresmittelwerte der Verkehrsstärken in den Hotspot-Bereichen	42
Tabelle 2-7:	Entwicklung der Verkehrsqualität in der Behlertstraße vor und nach Einführung der UVS	43
Tabelle 2-8:	Entwicklung der Verkehrsqualität in der Zeppelinstraße (stadteinwärts) vor und nach Einführung der UVS	44
Tabelle 2-9:	Entwicklung der Verkehrsqualität in der Zeppelinstraße (stadtauswärts) vor und nach Einführung der UVS	44
Tabelle 2-10:	Lufthygienische Wirkung der UVS auf die Situation in Potsdam	45
Tabelle 2-11:	Von dem flexiblen Tempolimit betroffene Fahrzeuge	53
Tabelle 2-12:	Auswirkungen des Tempolimits auf die durchschnittliche Pkw-Geschwindigkeit in km/h aus FVT (2016)	53
Tabelle 2-13:	Wirkung der temporären Geschwindigkeitsbeschränkung auf die NO _x -Belastung in Abhängigkeit vom Straßenabstand und im Vergleich zu einer ganzjährigen Aktivierung.	55
Tabelle 3-1:	Anzahl von Überschreitungen eines NO ₂ -Stundenmittelwerts aus den Monitordaten für den Altewiekring in Braunschweig in 2015 mit Anteilsrate an den Jahresstunden (Instantan).	58
Tabelle 3-2:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ (ganztäglich, instantan)	59
Tabelle 3-3:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ (ganztäglich, 1 Stunde verzögert)	59
Tabelle 3-4:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ (6 – 22 Uhr, instantan)	59
Tabelle 3-5:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ (6 – 22 Uhr, 1 Stunde verzögert)	60
Tabelle 3-6:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztäglich, instantan)	61
Tabelle 3-7:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztäglich, 1 Stunde verzögert)	62
Tabelle 3-8:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (6 – 22 Uhr, instantan)	62
Tabelle 3-9:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (6 – 22 Uhr, 1 Stunde verzögert)	62
Tabelle 3-10:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke im Schwerverkehr (ganztäglich, instantan)	63
Tabelle 3-11:	Minderungswirkung der UVM-Maßnahme auf die NO _x -Zusatzbelastung in der Behlertstraße in Abhängigkeit der vorherrschenden Verkehrsstärke	72
Tabelle 3-12:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ in der Variante ohne Alternativrouten (ganztäglich, instantan)	73

Tabelle 3-13:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ in der Variante mit Alternativrouten (ganztäglich, instantan)	73
Tabelle 3-14:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ ohne Alternativrouten (6 – 22 Uhr, instantan)	73
Tabelle 3-15:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ mit Alternativrouten (6 – 22 Uhr, instantan)	74
Tabelle 3-16:	Schwellenwerte und Aktivierungsraten für eine Maßnahmenauslösung auf Basis der Verkehrsstärke (Behlerstraße, Potsdam)	75
Tabelle 3-17:	Schwellenwerte, Aktivierungsraten und Minderungspotential für eine Maßnahmenauslösung auf Basis der Verkehrsstärke (Zeppelinstraße, Potsdam)	76
Tabelle 3-18:	NO _x -Wirkung verschiedener Auslöseschwellenwerte, Eingriffsschwellen und Alternativroutenverfügbarkeiten für den Hotspot Behlerstraße im Kalenderjahr 2013	78
Tabelle 3-19:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztäglich, instantan, keine Alternativroute)	80
Tabelle 3-20:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztäglich, instantan, mit Alternativroute)	80
Tabelle 3-21:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsqualität (ganztäglich, instantan, mit Alternativroute)	80
Tabelle 3-22:	Vergleich der Minderungswirkung bei Kombinationen von Auslöseschwellen für die Verkehrsstärke und einer NO ₂ -Gesamtbelastung in der Variante ohne Alternativrouten	82
Tabelle 3-23:	Vergleich der Minderungswirkung bei Kombinationen von Auslöseschwellen für die Verkehrsstärke und einer NO ₂ -Gesamtbelastung in der Variante mit Alternativrouten	83
Tabelle 3-24:	Ergebnisse für die Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der PM10-Auslöseschwelle für das Bezugsjahr 2014	86
Tabelle 3-25:	Auslöseschwellen und Aktivierungsraten im UVM Steiermark	87
Tabelle 4-1:	Übersicht über die Eingangsdaten und Modelle in den Untersuchungsgebieten	93
Tabelle 6-1:	Modellierte NO ₂ - und NO _x -Jahresmittelwerte an den Hotspots im Vergleich mit Messwerten auf der Basis von Halbstundenwerten	114
Tabelle 6-2:	Modellierte NO ₂ - und NO _x -Jahresmittelwerte an den Hotspots im Vergleich mit Messwerten auf der Basis von Stundenwerten	114
Tabelle 6-3:	Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO ₂ in der Variante ohne Alternativrouten bei Aggregation auf Stundenwerte (ganztäglich, instantan)	116
Tabelle 7-1:	Vergleich der gemessenen und modellierten NO ₂ -Immissionen an der Messstation Altewiekring im Monitoring und für die drei Prognosestunden	130
Tabelle 7-2:	Vergleich der gemessenen und modellierten PM10-Immissionen an der Messstation Altewiekring im Monitoring und für die drei Prognosestunden	130
Tabelle 7-3:	Vergleich der Aktivierungen bei Variation des NO ₂ -Schwellenwerts auf Basis der Monitoringdaten und der Vorhersagen	131
Tabelle 7-4:	Vergleich der Minderungen bei Variation des NO ₂ -Schwellenwerts auf Basis der Monitoringdaten und der Vorhersagen	132

Tabelle 7-5:	Ergebnisse für die Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der PM10-Auslöseschwelle für das Bezugsjahr 2014 unter Nutzung der Vortagesvorhersage	133
Tabelle 8-1:	Maßnahmen, für die die Befolgungsrate im Hinblick auf ihre Wirksamkeit relevant ist (ID_MN nach Diegmann et al., 2014)	136
Tabelle 8-2:	Verringerung des Lkw Verkehrs im Vergleich ohne und mit Durchfahrtsverbot	139
Tabelle 8-3:	Beispiele für die Einführung von Tempo 30 (bzw. 40) auf HVS	146

1 Einführung

Die Anlage 3 beschreibt, ergänzend zum Schlussbericht zum Forschungsprojekt „Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement“, die Teilarbeiten zur Bewertung der UVM-Systeme bzgl. der Wirkungen auf Luftschadstoffkonzentrationen, Lärm- und CO₂-Emissionen sowie deren räumlicher Wirkung.

2 Evaluierungsergebnisse aus den Untersuchungsgebieten

2.1 Braunschweig

2.1.1 Vorgehensweise zur Evaluation

Das in Braunschweig eingesetzte UVM-System wurde in Anlage 1 (dort in Kapitel 2.2.3) vorgestellt. Die im Hotspotbereich Altewiekring umgesetzte Maßnahme ist ebendort in Kapitel 2.2.4.1 beschrieben. Abbildung 2-1 zeigt noch einmal eine Übersichtsdarstellung der von der Maßnahme beeinflussten Knotenpunkte.



Abbildung 2-1: Überblick UVM-Maßnahme Altewiekring (Bellis)

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

Der Feldversuch fand im Zeitraum Juni / Juli 2015 statt, wobei an den Normalwerktagen (Mo – Fr) die UVM-Maßnahme im Wechsel immer entweder vormittags (07:00 – 10:00 Uhr) oder nachmittags (15:00-19:00 Uhr) aktiviert wurde. Eine Information der Verkehrsteilnehmer über die konkreten Schalttage und -zeiten fand bewusst nicht statt. Tabelle 2-1 zeigt beispielhaft den Schaltplan für die Testphase Juni 2015.

Tabelle 2-1: Schaltzeiten UVM-Maßnahme Altewiekring im Juni 2015

Schaltplan UVM ==> Testfeld Juni 2015

Stand: 26.06.2015

	Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
KW 23 01.06. - 05.06.	07:00 - 10:00	UVM		UVM		UVM		
	15:00 - 19:00		UVM		UVM			
KW 24 08.06. - 12.06.	07:00 - 10:00				UVM			
	15:00 - 19:00	UVM				UVM		
KW 25 15.06. - 19.06.	07:00 - 10:00	UVM		UVM		UVM		
	15:00 - 19:00		UVM		UVM			
KW 26 22.06. - 26.06.	07:00 - 10:00		UVM		UVM			
	15:00 - 19:00	UVM		UVM		UVM		

UVM Maßnahmenteil Pfortnerung deaktiviert, Maßnahmenteil GW ist wie geplant gelaufen

am 10.06. wurde die Maßnahme nicht geschaltet

Im Zeitraum des Feldtests gab es im Umfeld des Altewiekrings mehrere größere Bau-
 stellen, die bei der Interpretation der Feldtestergebnisse berücksichtigt werden müssen:

- Juni 2015:
 - Große Baumaßnahme am nördlichen Knoten K047 mit einspuriger Verkehrsführung in allen Richtungen; dadurch dauerhaft baustellenbedingte „Pfortnerung“ aus Richtung Norden (an Stelle der dort vorgesehenen temporären Pfortnerung bei geschalteter UVM-Maßnahme) und zeitweise verschlechterter Abfluss in Richtung Norden.
 - Ab Mitte Juni einspurige Verkehrsführung am Leonhardplatz (K21) in Richtung Süden; dadurch zeitweise verschlechterter Abfluss in Richtung Süden.
- Juli 2015:
 - Einspurige Verkehrsführung am Leonhardplatz (K21) in Richtung Süden; dadurch zeitweise verschlechterter Abfluss in Richtung Süden.
 - Temporär einspurige Verkehrsführung auf Höhe Heinrichstraße in Richtung Süden.

Eine zeitliche Verlegung des Feldtests war aufgrund der vorgegebenen Projektlaufzeiten und der Mitte Juli beginnenden Sommerferien leider nicht möglich. Nachstehende Tabelle 2-2 zeigt die Auswirkungen der Baumaßnahmen auf die am Altewiekring gemessenen Verkehrsstärken im Vergleich mit der Situation im Mai 2015.

Tabelle 2-2: Baustellenbedingte Veränderungen der täglichen Verkehrsstärken am Altewiekring im Feldtestzeitraum

Kfz pro Tag	Mai 2015	Juni 2015	Juli 2015	Änderung Juni zu Mai	Änderung Juli zu Mai
Ri. Nord	16 169	16 040	16 775	-0.8%	+3.7%
Ri. Süd	14 449	13 287	13 691	-8.0%	-5.2%
Querschnitt	30 618	29 327	30 466	-4.2%	-0.5%

2.1.1.1 Verkehr

Um die verkehrlichen Wirkungen umfassend untersuchen zu können, wurden im Feldtest mehrere Datenquellen zur Evaluierung genutzt:

- Detektion des Verkehrsmanagementsystems,
- Verkehrsmonitoring ViBS^{mt},
- Messfahrten mit GPS-Aufzeichnung,
- Videoerhebungen an den dem Messcontainer vor- und nachgelagerten Knotenpunkten sowie
- Aufzeichnung der in Google Maps dargestellten „Verkehrsqualität“.

Mit der geschaffenen Datengrundlage wurden Auswertungen durchgeführt bzgl. Veränderungen in

- den Verkehrsmengen,
- den Reisezeiten,
- der Anzahl Halte an Knotenpunkten,
- den Rückstaulängen sowie
- der von Google Maps dargestellten Verkehrsqualität.

Dazu wurden entsprechende Kennwerte jeweils getrennt nach Fahrtrichtung (Nord / Süd), Zeitbereich (Vormittag / Nachmittag), Zeitraum (Juni / Juli) und Status der UVM-Maßnahme (geschaltet / nicht geschaltet) ermittelt und gegenübergestellt.

2.1.1.2 Umwelt

Die Analyse der verkehrlichen Wirkungen auf die Luftschadstoffbelastung wurde mit dem Simulator-Modul des Monitoringsystem IMMIS^{mt} durchgeführt. Dabei wurden die aus dem Monitorbetrieb archivierten Eingangsdaten zur gemessenen Meteorologie und Vorbelastung an der städtischen Hintergrundstation verwendet und die Daten zum Verkehrsgeschehen aus den aufbereiteten Daten des Verkehrsmonitoring übernommen. Das Schema der Wirkungsanalyse ist in Abbildung 2-2 dargestellt. In dieser Analyse bleiben damit die Einflussfaktoren Meteorologie und Vorbelastung auf die jeweilige Gesamtbelastung im Hotspot gleich, so dass die Veränderungen in der Gesamtbelastung allein auf die geänderten Eingangsdaten zum Verkehr zurückzuführen sind.

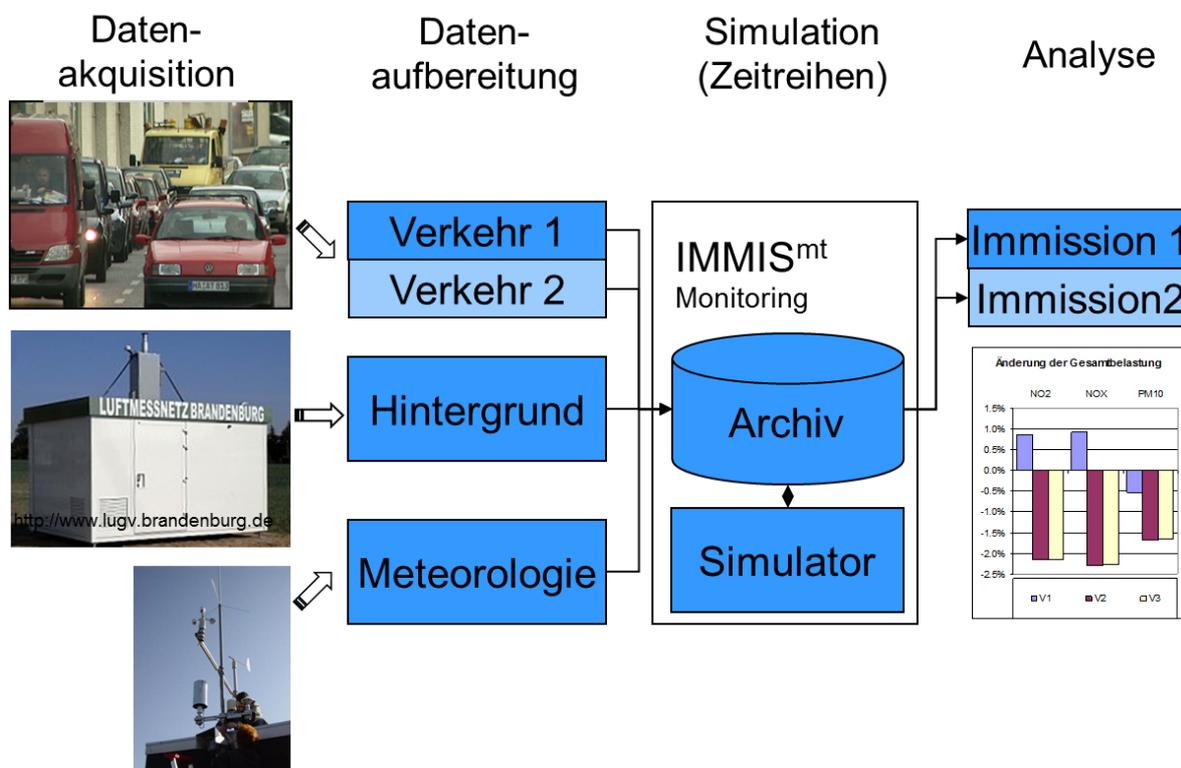


Abbildung 2-2: Schema der lufthygienischen Wirkungsanalyse mit dem Umweltmonitoringsystem IMMIS^{mt}

2.1.2 Ergebnisse

2.1.2.1 System

Das UVM-System arbeitete während des Feldtests weitestgehend fehlerfrei und ermöglichte damit eine valide Evaluation. Lediglich an einem Tag (10.06.2015) wurde die Schaltung der UVM-Maßnahme im Verkehrsmanagementsystem aus unbekanntem Gründen nicht aktiviert. An vier Tagen der ersten Feldtestwoche war außerdem die Pfortnerung aus Richtung Süden an K028 nicht aktiv, was jedoch bzgl. der verkehrlichen Wirkungen am Querschnitt Höhe Messcontainer keine gravierenden Auswirkungen hatte (vgl. Kapitel 2.1.3).

2.1.2.2 Verkehrliche Wirkungsanalyse

Durch Auswertung der erhobenen und berechneten Verkehrsdaten konnten im Feldtest für die UVM-Maßnahme folgende Wirkungen nachgewiesen werden:

- **Verkehrsmengen und lokale Geschwindigkeiten:**
 Die auf Höhe des Messcontainers aus der vorhandenen Detektion abgeleiteten mittleren Verkehrsstärken zeigten für die untersuchten Zeiträume, Zeitbereiche und Fahrtrichtungen durchgehend nur geringe Abweichungen zwischen geschalteter und nicht geschalteter UVM-Maßnahme ($\pm 3\%$), die statistisch nicht signifikant waren. Da die Verkehrsteilnehmer nicht über die konkreten Schaltzeitpunkte der UVM-Maßnahme informiert waren, war dieses Ergebnis einerseits zu erwarten und andererseits auch erwünscht, weil Verlagerungseffekte ins benachbarte Streckennetz vermieden werden sollten.

Die Auswertung der Detektion bzgl. der mittleren lokalen Geschwindigkeiten ergab auf Höhe des Messcontainers für alle Zeiträume, Zeitbereiche und Fahrtrichtungen einen Anstieg der gemessenen mittleren Geschwindigkeiten zwischen 3 und 13 km/h bei aktivierter UVM-Maßnahme. Gleichzeitig wiesen die Messwerte mit UVM-Maßnahme im Regelfall eine deutlich geringere Streuung auf.

- **Reisezeiten:**
 Über die GPS-Aufzeichnungen konnten im beeinflussten Streckenabschnitt bei geschalteter UVM-Maßnahme deutliche Verringerungen in der Reisezeit nachgewiesen werden, die auf den verbesserten Verkehrsablauf in der Hauptrichtung zurückzuführen sind. Abbildung 2-3 verdeutlicht die Effekte am Beispiel der Fahrtrichtung von Nord nach Süd. Erkennbar ist hier außerdem, dass durch die UVM-Maßnahme die Anzahl Halte und die Streuung zwischen den gemessenen Einzelreisezeiten gegenüber dem Nullfall reduziert werden konnten.
 In der Gegenrichtung (Süd nach Nord) konnten auch Reisezeitgewinne im beeinflussten Streckenabschnitt erzielt werden, wobei hier allerdings bei geschalteter UVM-Maßnahme die Pfortnerung am südlichen Endknoten zu Reisezeitverlusten in ähnlicher Größenordnung führte

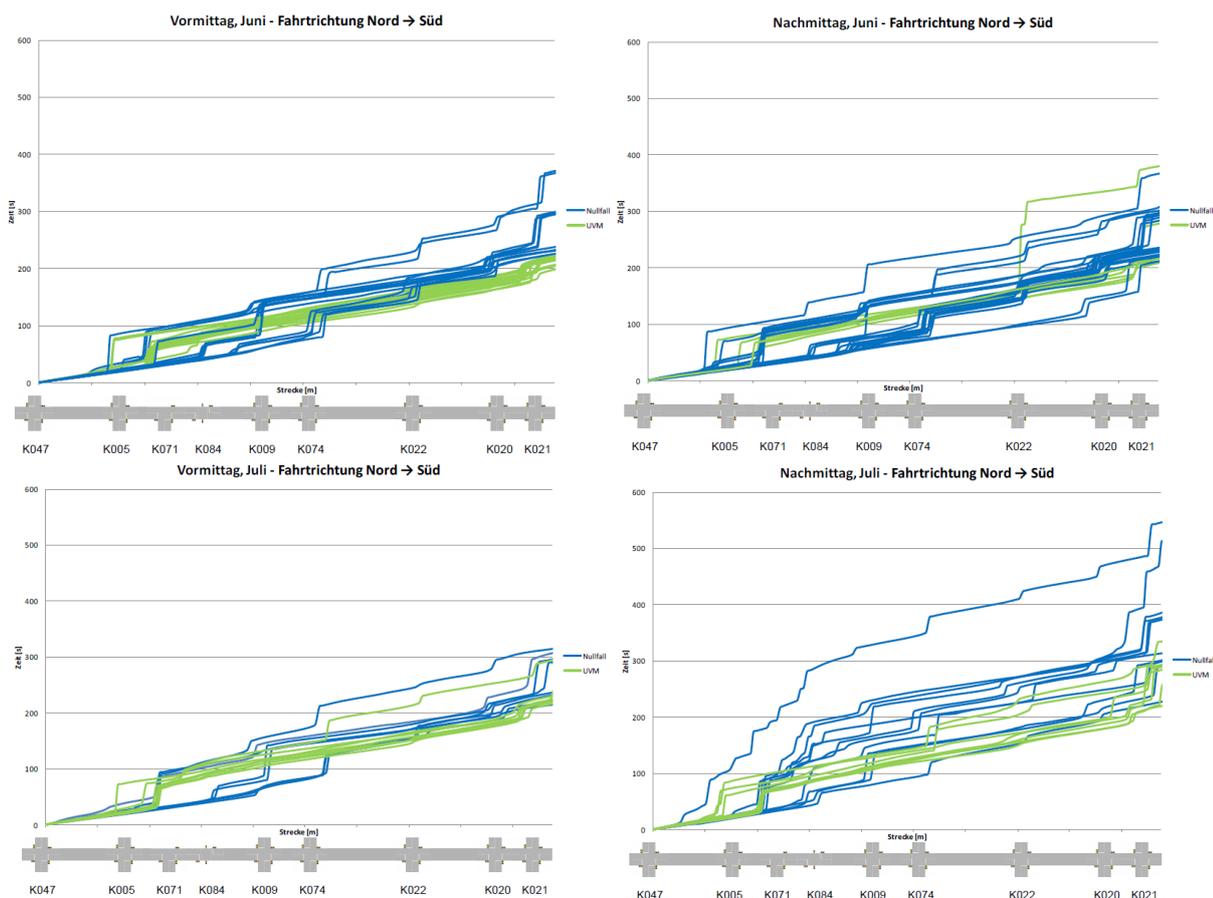


Abbildung 2-3: Weg-Zeit-Diagramm für die GPS-Messfahrten im Feldtest 2015 Fahrtrichtung von Nord nach Süd

- **Anzahl Halte und Rückstaulängen:**
 Die Verringerung der Anzahl Halte bei geschalteter UVM-Maßnahme konnte bereits

durch die GPS-Aufzeichnungen nachgewiesen werden. Für den Knotenpunkt K074 in Richtung Süd und den Knotenpunkt K009 in Richtung Nord wurden außerdem die Videoerhebungen bzgl. Anzahl Halte bzw. Rückstaulängen ausgewertet. Während ohne UVM-Maßnahme je Umlauf zum Ende der Rotphase im Durchschnitt 9 bis 11 Kfz (Richtung Süd) bzw. 9 bis 20 Kfz (Richtung Nord) an der Haltelinie standen, betrug die entsprechenden Zahlen mit UVM-Maßnahme lediglich 2 bis 5 Kfz (Richtung Süd) bzw. 5 bis 8 Kfz (Richtung Nord).

- „Verkehrsqualität“ nach Google Maps:
 Als weitere qualitative Datenquelle wurde Google Maps zur Einschätzung der Verkehrsqualität verwendet. Hierzu wurden viertelstündlich die dort dargestellten „LOS-Werte“ (grün bis dunkelrot) aufgezeichnet. Auch wenn mangels geeigneter Abgrenzungen ein quantitativer Vergleich der „Google-LOS-Anteile“ mit den LOS-Anteilen des Verkehrsmonitorings nicht möglich war, so konnte die positive Wirkung der UVM-Maßnahme auf die Qualität des Verkehrsablaufs auf dem Altewiekring damit qualitativ über eine unabhängige Datenquelle nachgewiesen werden. Abbildung 2-4 zeigt beispielhaft die entsprechenden Auswertungen für den Zeitraum Juli 2015 und den Zeitbereich vormittags.

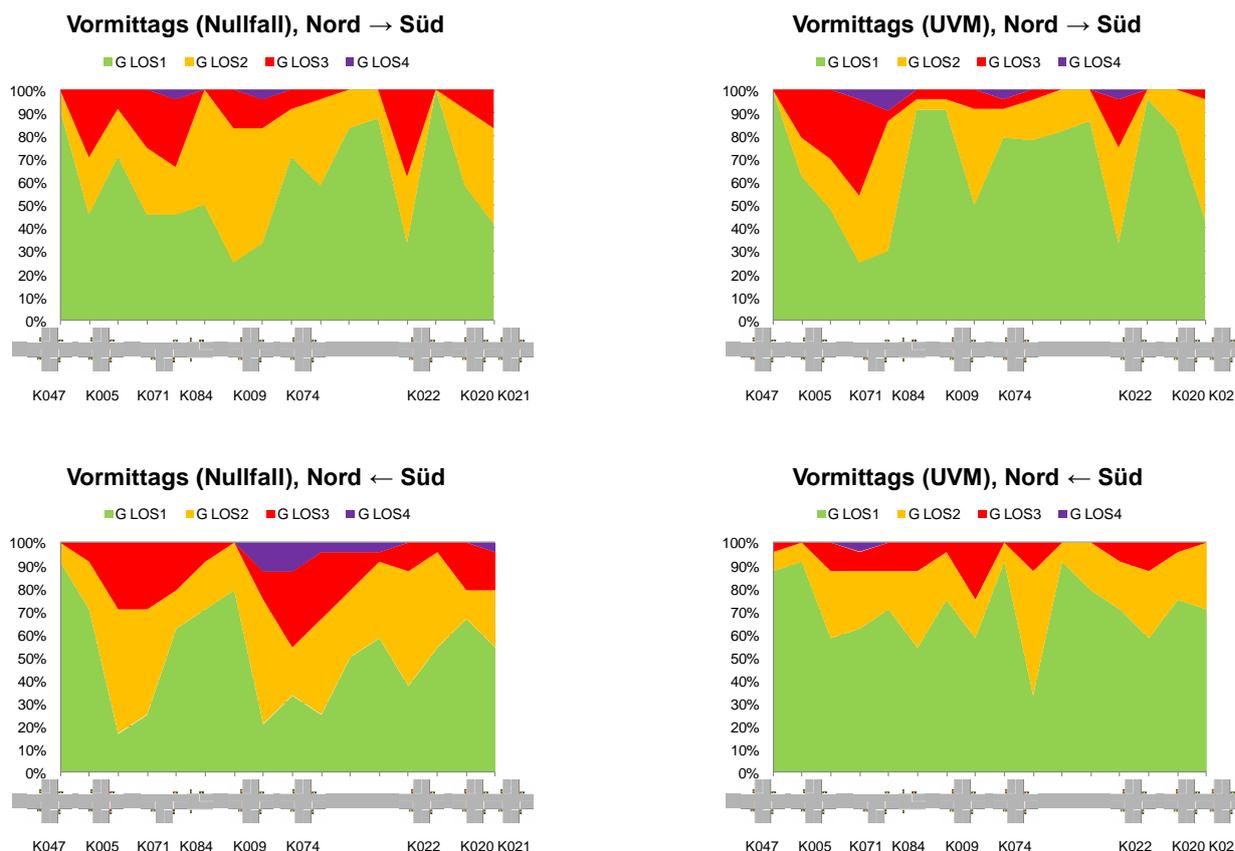


Abbildung 2-4: Beispielhafte Auswertung zur Verkehrsqualität aus Google Maps

Die im Feldtest ermittelten Wirkungen passen – unter Berücksichtigung der durch die Baustellensituation geänderten Rahmenbedingungen – gut bis sehr gut zu den vorab aus der Mikrosimulation abgeschätzten Wirkungen und übertreffen diese zum Teil.

Tabelle 2-3 verdeutlicht dies am Beispiel der modellierten und der im Zeitraum Juli 2015 gemessenen Reisezeiten für den Streckenabschnitt von Kastanienallee bis Jasperallee (K009 <-> K022) und für den gesamten beeinflussten Streckenabschnitt (K047 -> K021 bzw. K021 -> K005¹). Eine Ausnahme bildet lediglich die Fahrtrichtung Süd -> Nord am Nachmittag, wo in der Gesamtbetrachtung der Reisezeitgewinn durch die UVM-Maßnahme nur minimal ist. Im besonders kritischen Streckenabschnitt zwischen Kastanienallee und Jasperallee konnte aber auch hier eine deutliche Verbesserung der Reisezeit erreicht werden.

Tabelle 2-3: Vergleich der Reisezeiten mit und ohne UVM-Maßnahme für Mikrosimulation und Messung

Strecke	Modell Nullfall	Modell UVM	IST Juli Vormittag Nullfall	IST Juli Vormittag UVM	IST Juli Nachmittag Nullfall	IST Juli Nachmittag UVM
Nord -> Süd K047 -> K021	250 s	244 s	269 s	241 s	376 s	281 s
Nord -> Süd K009 -> K022	71 s	57 s	82 s	51 s	68 s	64 s
Süd -> Nord K021 -> K005	259 s	178 s	322 s	221 s	247 s	246 s
Süd -> Nord K022 -> K009	82 s	61 s	182 s	78 s	92 s	82 s

2.1.2.3 Lufthygienische Wirkungsanalyse

Die Wirkungen der UVM-Maßnahme auf die Emissionen und Immissionen wurde gemäß Kapitel 2.1.1.2 auf der Basis der archivierten Daten des Umweltmonitoringsystem mit dem Simulator-Modul von IMMIS^{mt} berechnet.

Aus der verkehrlichen Wirkungsanalyse werden die in IMMIS^{mt} archivierten Verkehrsdaten aus dem Monitoringbetrieb in eine zweite Zeitreihe aufgespalten, in denen jeweils zum Zeitpunkt der Aktivierung die Verkehrsdaten aus Zeiträumen ohne Aktivierung übertragen werden. Für diese Zeitreihe wurden Emissionen und Immissionen im Altwiekring berechnet.

Die Emissionsberechnung erfolgte fahrtrichtungsgetrennt. Die mittlere Wirkung der Maßnahmen auf die Kfz-Emissionen ist fahrtrichtungsgetrennt in Tabelle 2-4 aufgelistet. Die Minderungswirkungen bei NO_x und NO₂ liegt in Fahrtrichtung Nord-Süd mit 15 %

¹ Aufgrund des baustellenbedingten Rückstaus am K047 Richtung Nord wurde hier für die Auswertungen nur der Streckenabschnitt bis K05 betrachtet.

bzw. 17 % deutlich höher als in Fahrtrichtung Süd-Nord mit 9 % bzw. 10 %. Die Minderung bei PM10 liegt mit 12 % bzw. 13 % in beiden Fahrtrichtungen nahe beieinander.

Tabelle 2-4: Mittlere Wirkung der Maßnahme auf die Kfz-Emissionen im Altewiekring in Braunschweig

Minderung durch MN	NO _x	NO ₂	PM10
Fahrtrichtung Süd-Nord	-8.9%	-9.8%	-12.0%
Fahrtrichtung Nord-Süd	-15.2%	-17.3%	-13.1%

Die modellierten stündlichen Zeitreihen der NO₂-Konzentration im Altewiekring für die Situation ohne und mit Maßnahme sind in Abbildung 2-5 dargestellt. Zusätzlich ist in dieser Abbildung immer der Zeitpunkt der Maßnahmenaktivierung mit einem grünen Dreieck markiert.

Anhand dieser Grafik ist gut zu erkennen, wie die NO₂-Konzentrationen als Folge der geminderten lokalen Kfz-Emissionen bei einer aktivierten Maßnahme gegenüber dem „Ohne-Fall“ zurückgehen. Für den Zeitraum von 4 Wochen wird als mittlere NO₂-Konzentration im Fall ohne Maßnahme eine NO₂-Konzentration von 40.5 µg/m³ berechnet. Die Aktivierung der Maßnahme in 66 Stunden führt zu einer Reduktion der NO₂-Konzentration auf 39.8 µg/m³, was einem Rückgang von 0.7 µg/m³ bzw. einer Minderung von 1.8 % entspricht. Bezogen auf den Gesamtzeitraum wurde die Maßnahme an 11 % der Stunden aktiviert. Wie in der Beschreibung der Maßnahmen aufgezeigt, wurde die Maßnahme nicht in Abhängigkeit der Luftschadstoffbelastung oder eines anderen Schwellenwertes aktiviert, sondern nach einem festen Schaltplan (siehe Tabelle 2-1). Die Wirkung der Maßnahme bei einer Aktivierung nach ausgewählten Schwellenwerten wird in Kapitel 3.1 beschrieben.

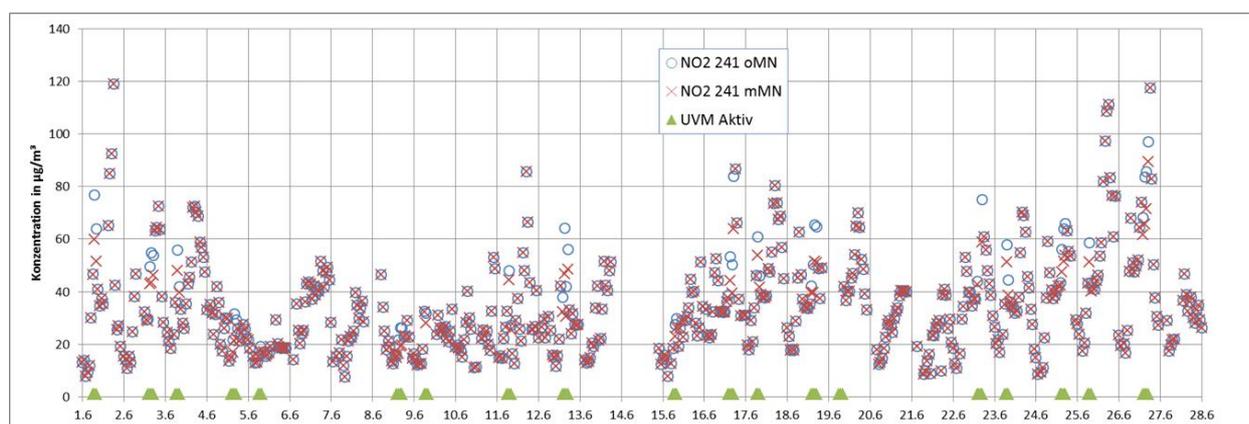


Abbildung 2-5: Modellierter Zeitreihe der NO₂-Konzentration im Altewiekring während im Zeitraum des Feldversuchs zur Maßnahme (oMN – ohne Maßnahme; mMN - mit Maßnahme)

2.1.3 Fazit

Im Feldtest konnte durch umfangreiche Evaluierungen nachgewiesen werden, dass die UVM-Maßnahme durch eine verbesserte Koordinierung zu geringeren Reisezeiten und einer Verringerung der Anzahl Halte im beeinflussten Streckenabschnitt führt.

Steigende Verkehrsstärken verschlechtern den Verkehrsfluss, so dass die zusätzliche Pfortnerung an beiden Enden des Streckenabschnitts erforderlich ist. Allerdings wirkte die Pfortnerung aus Richtung Süden am K028 (Bahnhof) im Feldtest schwächer als die (implizite) „Pfortnerung“ am K021 (Leonhardplatz) durch die dort implementierte verkehrsabhängige Steuerung mit Stadtbahnbevorrechtigung. Es wäre daher sinnvoll, auch die Steuerungen des K021 und des K005 (dessen Steuerung ebenfalls in der aktuellen UVM-Maßnahme nicht verändert wird) besser in die Koordinierung einzubeziehen. Aufgrund der dort umgesetzten Stadtbahnbevorrechtigungen erscheint das politisch jedoch bislang nicht umsetzbar.

Durch die aufgrund der Baustellenproblematik wechselnden und nicht exakt zur Mikrosimulation aus der Planung passenden Verkehrsnachfragen wurde nachgewiesen, dass die UVM-Maßnahme für eine Bandbreite von Verkehrssituationen wirksam ist und nicht nur exakt für die im Rahmen der Planung simulierte Verkehrssituation Verbesserungen bewirkt.

Die rechnerisch ermittelte Wirkung der Maßnahme bezogen auf den Zeitraum von 4 Wochen, in denen der Feldtest lief, betrug bei einer zeitlichen Aktivierung von 66 Stunden bzw. 11 % bezogen auf den Gesamtzeitraum 1.8 %. Es ist zu erwarten, dass die Wirkung bei einer vergleichbaren Aktivierungsrate aber einer umweltsensitiven Aktivierung bei hohen NO₂-Konzentrationen zu einer höheren Wirkung führt. Entsprechende Auswertungen werden im Kapitel 3.1 beschrieben.

2.2 Erfurt

2.2.1 Vorgehensweise zur Evaluation

Die Wirkungsabschätzung erfolgt in drei Arbeitsschritten:

- Ermittlung der für die Emissionsberechnung mit HBEFA 3.1 (UVM-Pilotvorhaben Talstraße / Bergstraße) bzw. HBEFA 3.2 (UVM-Pilotvorhaben Leipziger Straße) erforderlichen fixen und variablen Parameter
- Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen je Szenario
- Ableitung des verkehrsbedingten Anteils an der Gesamt-Immissionsbelastung
- Ermittlung der Wirkungen im Szenarienvergleich

Talstraße / Bergstraße

Die Systemgrafik ist in Anlage 1 (Kapitel 2.3.2.1.1) dargestellt.

Als Grundlage für die Wirkungsabschätzung wurden verschiedene verkehrliche Szenarien (S0...S4)

- zum einen durch dauerhafte Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses und
- zum anderen durch kurzfristige Maßnahmen zur Verringerung der Verkehrsmengen definiert, die teilweise als Steuerungsstrategien an der Lichtsignalanlage (LSA) Talstraße / Auenstraße hinterlegt sind.

a) Dauerhafte Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses:

- S1: Grundkoordinierung (Steuerungsstrategie „ohne-ÖPNV-ohne-Dosierung“)
 - Grundkoordinierung zwischen LSA 157 Talstraße/ Auenstraße und LSA 152 Nordhäuser Straße/ Bergstraße
- S2: Optimierte Koordinierung (Steuerungsstrategie „mit-ÖPNV-ohne-Dosierung“) wie S1, aber mit:
 - zusätzlicher Berücksichtigung auch später ÖPNV-Anmeldungen an LSA 152 in der Steuerung der LSA 157
 - Berücksichtigung von Rückstauinformationen vor LSA 152 in der Steuerung der LSA 157

b) Kurzzeitige Maßnahmen zur Reduktion der Verkehrsmengen:

- S3: Zuflussdosierung (Steuerungsstrategie „mit-ÖPNV-mit-Dosierung“) wie S2, aber mit:
 - Temporärer Dosierung des Zuflusses von LSA 157 zu LSA 152 mit Rückstauüberwachung im Bereich Talstraße
- S4: Fahrverbot SNF wie S3, aber mit:
 - temporärem Fahrverbot für schwere Nutzfahrzeuge im Bereich Talstraße / Bergstraße (Umsetzung langfristig durch ein Lkw-Führungskonzept)

c) Potentialabschätzung:

- S0: Ohne Koordinierung
Für den Straßenzug Bergstraße/ Talstraße:
 - keine Koordinierung LSA 157 Talstraße/ Auenstraße

Leipziger Straße

Die Systemgrafik ist in Anlage 1 (Kapitel 2.3.2.2.1, Abbildung 2-31) dargestellt. Abbildung 2-6 zeigt ergänzend dazu die schematische Systemübersicht des Straßenzuges.

Als Grundlage zur Wirkungsabschätzung wurden zwei verkehrliche Szenarien unterschieden:

- Szenario S0: Ohne Zuflussdosierung (Ausgangssituation)
- Szenario S1: Mit Zuflussdosierung

Die Zuflussdosierung erfolgt am Knotenpunkt (KP) Leipziger Straße / Am Alten Nordhäuser Bahnhof (LSA 206) in stadteinwärtiger Fahrtrichtung. Der Dosierungsquerschnitt teilt den Streckenzug in die beiden hinsichtlich der Wirkungsermittlung zu unterteilende Abschnitte A1 und A2.

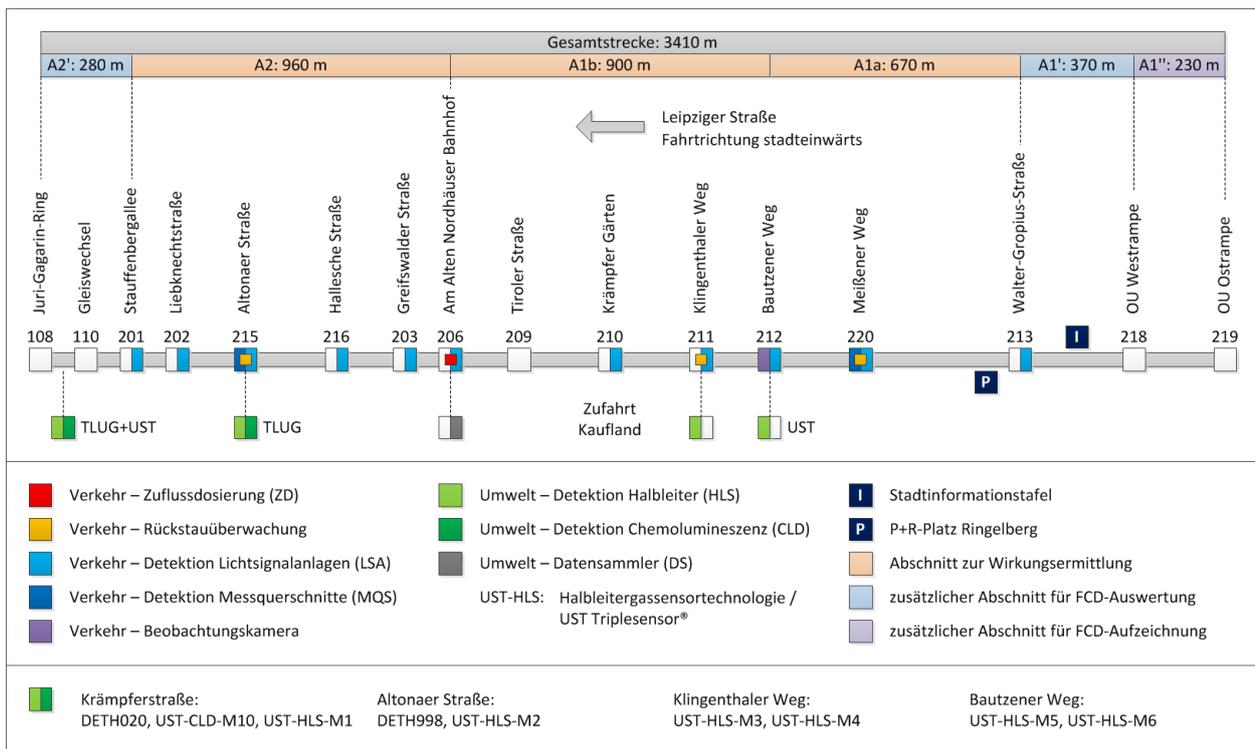


Abbildung 2-6: UVM-EF – Schematische Systemübersicht

Zur besseren Berücksichtigung der unterschiedlichen Straßenlängsneigungen im Rahmen der Emissionsberechnungen wurde der Abschnitt A1 (stromaufwärts des Dosierungsquerschnittes) nochmals unterteilt:

- Abschnitt A1a: Vor Dosierungsquerschnitt (Länge ca. 670 m, Längsneigung ca. -3%)
 - Beginn: KP Leipziger Straße / Walter-Gropius-Straße (LSA 213)
 - Ende: KP Leipziger Straße / Bautzener Weg (LSA 212)
- Abschnitt A1b: Vor Dosierungsquerschnitt (Länge ca. 900 m)
 - Beginn: KP Leipziger Straße / Bautzener Weg (LSA 212)
 - Ende: KP Leipziger Straße / Am Alten Nordhäuser Bahnhof (LSA 206)
- Abschnitt A2: Nach Dosierungsquerschnitt (Länge ca. 960 m)
 - Beginn: KP Leipziger Straße Am Alten Nordhäuser Bahnhof (LSA 206)
 - Ende: KP Stauffenbergallee / Krämpferbrücke (LSA 201)

2.2.2 Ergebnisse

2.2.2.1 System

Talstraße / Bergstraße

Die Szenarien S1, S2 und S3 sind als sog. Steuerungsstrategien am Steuergerät der LSA 157 Talstraße / Auenstraße implementiert. Im Verlauf der Pilotmaßnahme vom 27.02.2012 bis 03.03.2013 wurden die verschiedenen Szenarien mit den zugrundeliegenden Steuerungsstrategien aktiviert (vgl. Abbildung 2-7).

Nr.	Zeitraum von ... bis		5-min-Intervalle	Szenario (Steuerungsstrategie)	Bemerkungen
1	27.02.2012 00:00	17.04.2012 00:00	12.960	S2: Optimierte Koordinierung	
	28.03.2012 00:00	02.04.2012 00:00	1.440		keine Daten von LSA 152 u. 157*
2	17.04.2012 00:00	18.04.2012 14:00	456	Festzeitprogramm	Baumaßnahme*
3	18.04.2012 14:00	02.05.2012 08:15	3.963	S1: Grundkoordinierung	
4	02.05.2012 08:15	07.05.2012 00:00	1.341	S2: Optimierte Koordinierung	Umschaltung wg. Umweltbelastung
5	07.05.2012 00:00	05.06.2012 11:15	8.487	S1: Grundkoordinierung	
6	05.06.2012 11:15	07.09.2012 09:15	23.304	S2: Optimierte Koordinierung	
	06.08.2012 00:00	19.08.2012 00:00	3.744		Umbau Verkehrsrechner*
7	07.09.2012 09:15	22.10.2012 09:00	12.927	S1: Grundkoordinierung	
	01.10.2012 07:00	01.10.2012 09:30	30		LSA 152 Detektorstörung*
8	22.10.2012 09:00	14.11.2012 00:00	6.516	S2: Optimierte Koordinierung	13.11. 6-19 Uhr Manuelle Erhebung
9	14.11.2012 00:00	15.11.2012 00:00	288	S1: Grundkoordinierung	14.11. 6-19 Uhr Manuelle Erhebung
10	15.11.2012 00:00	25.11.2012 00:00	2.724	Wechselnde Programme	Baumaßnahme 15.-24.11. 8-15 Uhr*
	20.11.2012 06:00	20.11.2012 19:00	156		S0: Ohne Koordinierung
11	25.11.2012 00:00	29.01.2013 16:00	18.912	S2: Optimierte Koordinierung	
12	29.01.2013 16:00	05.02.2013 16:45	2.025	S3: Zuflussdosierung	Mo-Fr 6-19 Uhr, Sa-So 8-19 Uhr
13	05.02.2013 16:45	04.03.2013 00:00	7.575	S1: Grundkoordinierung	

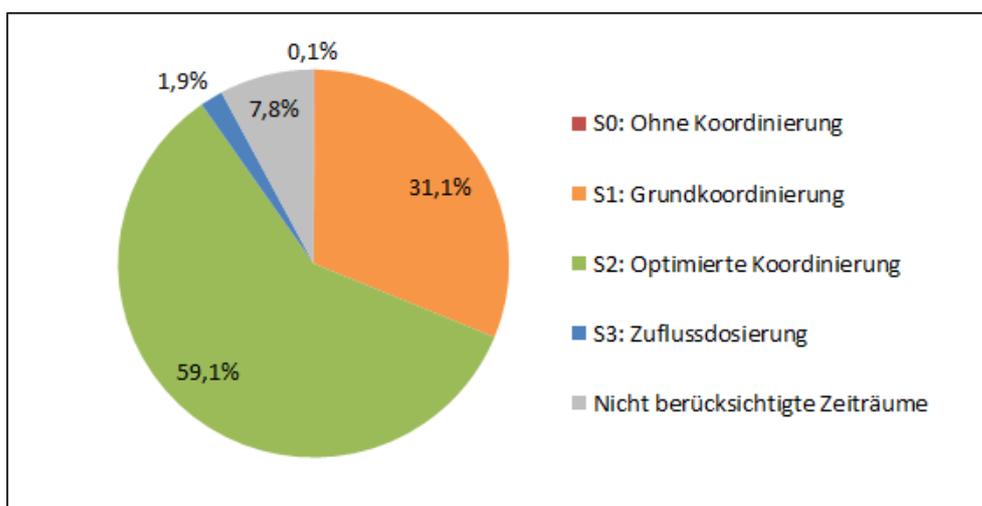
*) Zeiträume wurden in den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Abbildung 2-7: UVM-EF – Szenarien-Einsatz im zeitlichen Verlauf

Als Hauptgegenstand der Pilotmaßnahme wurden – mit einem Zeitanteil (vgl. Abbildung 2-8) von insgesamt ca. 90 % – vorzugsweise die Szenarien S1: Grundkoordinierung und S2: Optimierte Koordinierung aktiviert. Der ursprünglich angestrebte Ausgleich der Zeitanteile für S1 und S2 zum Ende der Pilotmaßnahme konnte nicht erreicht werden, da witterungsbedingt zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit von Grenzwertüberschreitungen in den Wintermonaten vorzugsweise das Szenario S2 zum Einsatz kam. Die im Vergleich der beiden Zwischen- und der Endauswertung stabilen Ergebnisse der Verkehrsdatenanalyse zeigen jedoch, dass diese Tatsache für die Belastbarkeit des Gesamtergebnisses unerheblich ist.

Neben diesen beiden Szenarien wurden darüber hinaus ergänzend das Szenario S0: Ohne Koordinierung (1 Tag) und das Szenario S3: Zuflussdosierung (7 Tage) – letzteres in Vorbereitung der zu dieser Zeit in Planung befindlichen Pilotmaßnahme in der Leipziger Straße – aktiviert.

Die verbleibenden Zeiträume, in denen u. a. Bauarbeiten im Straßenzug Talstraße / Bergstraße realisiert wurden bzw. ein Umbau des städtischen Verkehrsrechners stattfand, wurden in den Auswertungen nicht berücksichtigt.



**Abbildung 2-8: UVM-EF – Szenarien-Einsatz nach Zeitanteilen
Leipziger Straße**

Die Zuflussdosierung im Szenario S1 ist bei Aktivierung jeweils auf den Zeitraum der Morgenspitze von 06:30 bis 08:30 Uhr begrenzt. Um einerseits die konkrete Wirkung der Steuerung und andererseits die umweltbezogene Gesamtwirkung ermitteln zu können, wurden als Auswerteziträume unterschieden:

- Zeitraum Z1: Montag bis Freitag, jeweils von 06:30 Uhr bis 08:30 Uhr (ohne Ferien- und Feiertage)
- Zeitraum Z2: Montag bis Sonntag, jeweils von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr (d. h. durchgehend)

Die Szenarien wurden im Verlauf der Pilotmaßnahme wie in Abbildung 2-9 dargestellt aktiviert.

In den Monaten 08-09/2013 wurde zunächst das Szenario S0 aktiviert. Mit der technischen Fertigstellung der Zuflussdosierung wurde im Monat 10/2013 das Szenario S1 aktiviert. Abweichungen hiervon wurden an einzelnen Tagen zum Zwecke der Durchführung der ersten FCD-Messfahrten, jeweils mit und ohne aktivierte Zuflussdosierung vorgenommen. Über den gesamten Verlauf der Pilotmaßnahme (insgesamt 365 Tage) wurde hinsichtlich des Zeitraums Z1 (vgl. oben) mit 98 Tagen in S0 und 96 Tagen in S1 ein ausgeglichener zeitlicher Einsatz beider Szenarien realisiert (vgl. Abbildung 2-10). Dabei wurden Brückentage der Kategorie Montag-Freitag (Ferien) und Feiertage der Kategorie Sonntag zugeordnet.

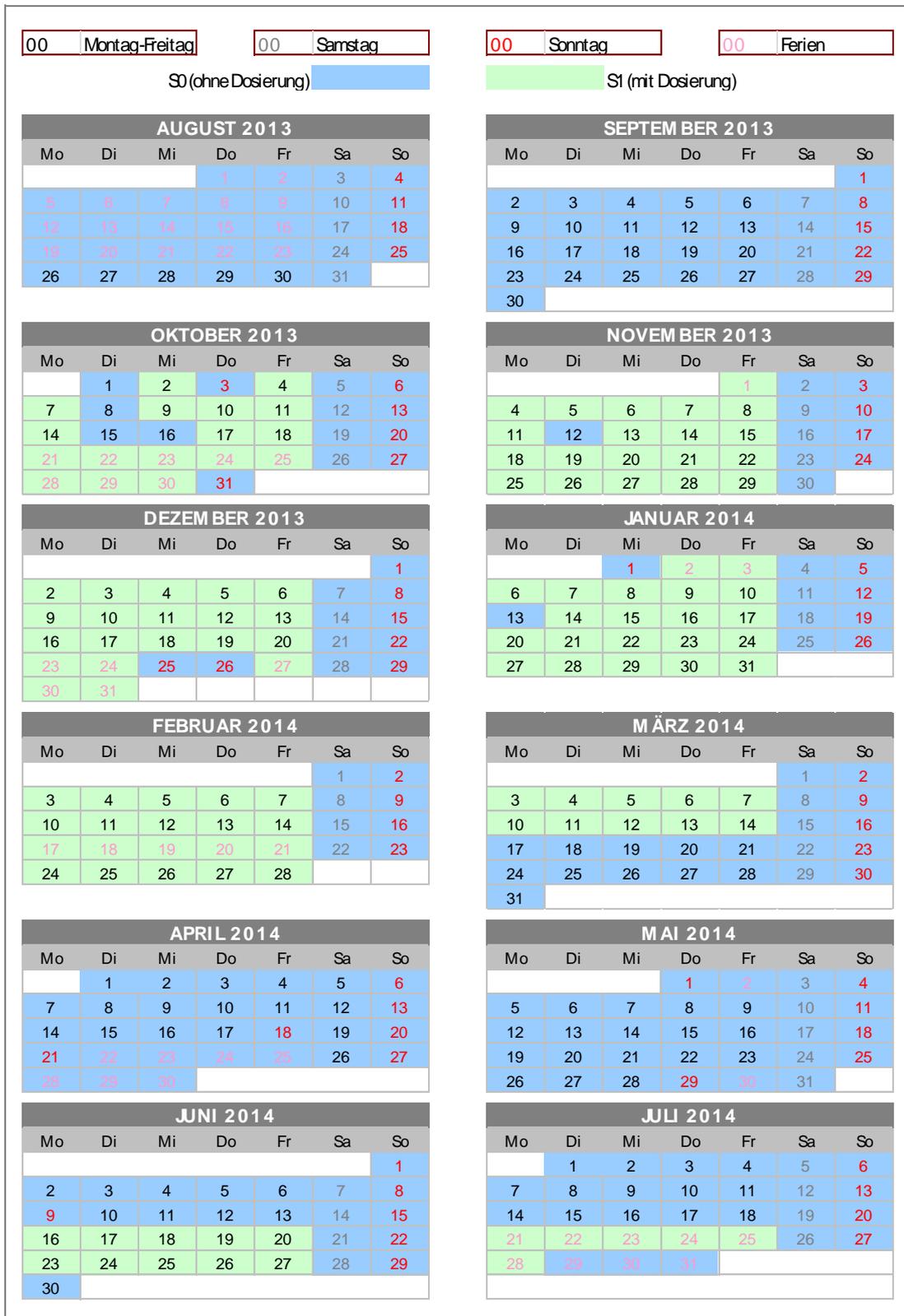


Abbildung 2-9: UVM-EF – Szenarien-Einsatz im zeitlichen Verlauf

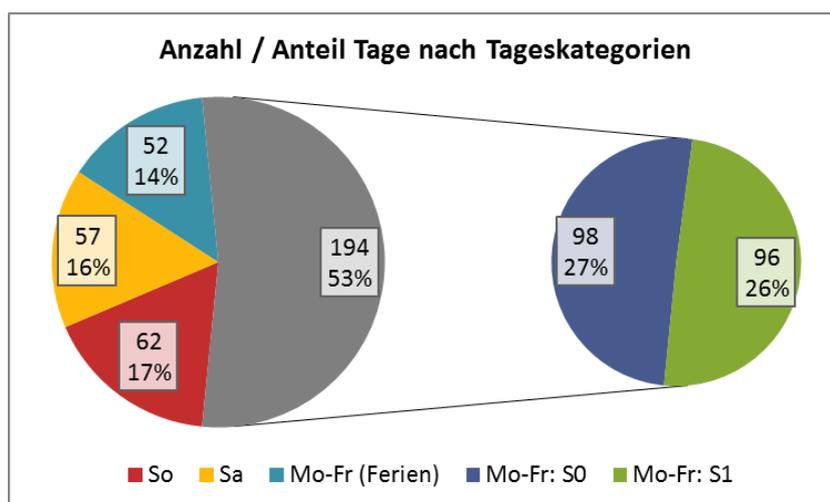


Abbildung 2-10: UVM-EF – Szenarien-Einsatz nach Tageskategorien

2.2.2.2 Verkehrliche Wirkungsanalyse

Zur Ableitung der Verkehrssituationen nach HBEFA gibt es unterschiedliche Ansätze, dazu zählen der Auslastungsgrad, Verkehrsdichte, lokale Messdaten oder auch Floating-Car-Daten. Je nach Ansatz ergibt sich eine unterschiedliche Einstufung in die Verkehrssituationen nach HBEFA. Welcher Ansatz verwendet werden kann, hängt von der verfügbaren Datengrundlage ab. Zum Zeitpunkt der Laufzeit der beiden Pilotvorhaben in Erfurt stand noch kein Verkehrslagesystem zu Verfügung. Insofern wurde die Ableitung der Verkehrssituationen mit Hilfe der Kenngröße Verkehrsdichte vorgenommen.

Zur zeitlich hochaufgelösten Bestimmung der Verkehrsqualität wurden die in 10-min-Intervallen aufbereiteten Verkehrsdaten herangezogen. Als Maß für die verkehrliche Wirkung wurde die Kenngröße Verkehrsdichte ausgewertet. Als Eingangsgröße für die Emissionsberechnung wurde die Verkehrssituation nach HBEFA mit den zugehörigen fahrzeugklassenspezifischen Verkehrsmengen ermittelt.

Talstraße / Bergstraße

Eine Gesamtauswertung der Zeitanteile der ermittelten Verkehrsdichten als Maß zur Ermittlung der LOS-Stufen zeigt im Vergleich beider Szenarien Abbildung 2-11 mit einer Abstufung der Häufigkeitsklassen der Verkehrsdichte von 2 Kfz/km. Die Bezeichnung der Verkehrsdichteklasse beschreibt die obere Grenze des Verkehrsdichteintervalls, d. h. die Klasse 10 Kfz/km beinhaltet die ermittelten Verkehrsdichten $8 < k \leq 10$ Kfz/km. Zur übersichtlicheren Darstellung sind die Häufigkeitswerte der Klasse 2 Kfz/km bei 10% abgeschnitten.

Im Szenario S1 (Grundkoordinierung) gibt es einen bestimmten Anteil an Umläufen, in denen die Stadtbahn in der Nordhäuser Straße außerhalb des planmäßigen Grünbandes verkehrt. In diesem Fall stellt sich in der Bergstraße eine in ähnlicher Form wiederkehrende Verkehrssituation ein, die durch eine bestimmte Anzahl zum Halten kommenden Fahrzeuge gekennzeichnet ist. Diese Verkehrssituation äußert sich in der vergleichsweise größeren Häufigkeit der Verkehrsdichteklasse 36 Kfz/km zu benachbarten Häufigkeitsklassen.

Es ist deutlich zu erkennen, dass die niedrigeren Verkehrsdichten im Bereich von etwa 2-22 Kfz/km häufiger im Szenario S2 mit der optimierten Koordinierung und die höheren Verkehrsdichten von etwa 24-40 Kfz/km häufiger im Szenario S1 mit der Grundkoordinierung auftreten. Das belegt die verkehrliche Wirksamkeit der optimierten Koordinierung.

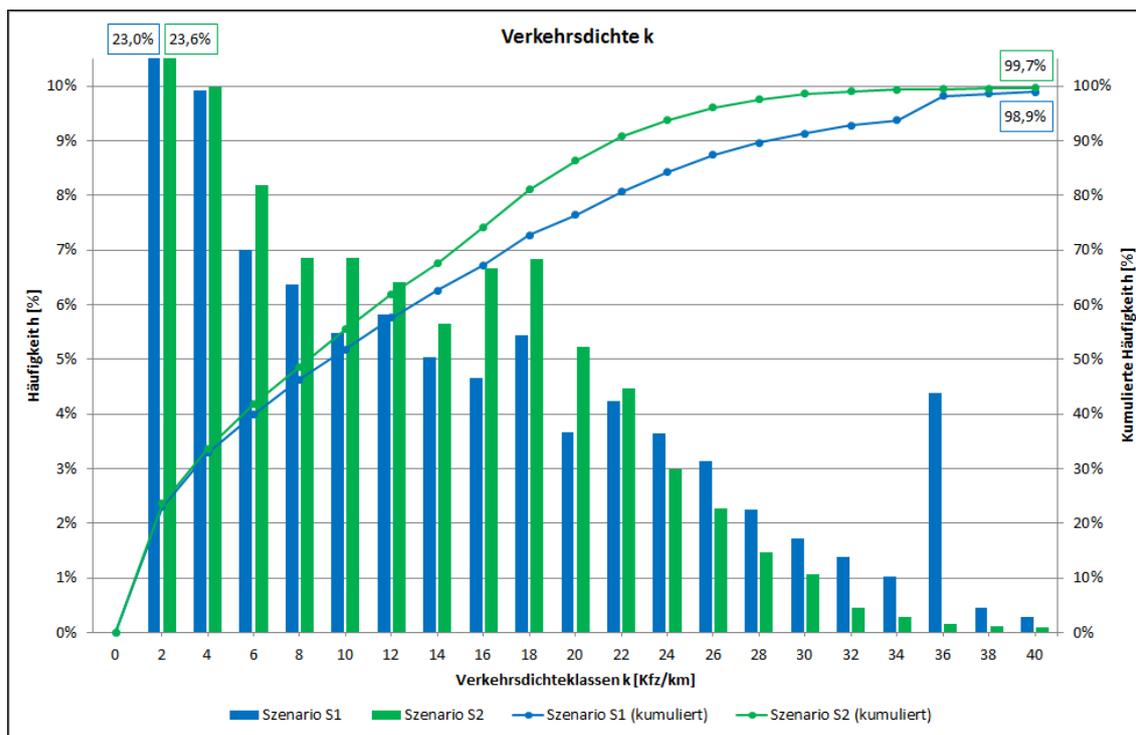


Abbildung 2-11: UVM-EF – Zeitanteile der Verkehrsdichte nach Szenarien

Als Grundlage für die Emissionsberechnung wurden differenziert nach den beiden Szenarien S1 und S2 die ermittelten Zeitanteile der einzelnen LOS-Stufen sowie die zugehörigen ermittelten Verkehrsbelastungen über den Untersuchungszeitraum aggregiert (vgl. Abbildung 2-12). Danach ergibt sich im Szenario S2: Optimierte Koordinierung im Vergleich zum Szenario S1: Grundkoordinierung eine Erhöhung des Zeitanteils der LOS-Stufe 1 (flüssiger Verkehr) von 84,3% auf 94,9%, während die Zeitanteile für die LOS-Stufen 2-4 (dichter Verkehr, gesättigter Verkehr, Stop+Go) sinken.

Szenario		S1: Grundkoordinierung				S2: Optimierte Koordinierung			
		t [%]	q [Kfz/d]			t [%]	q [Kfz/d]		
Level of Service	PKW		LNF	SNF	PKW		LNF	SNF	
1	fluessig	84,3%	9216	912	192	94,9%	10152	984	192
2	dicht	7,1%	18312	1800	360	4,0%	18240	1800	360
3	gesaettigt	7,0%	16704	1608	288	0,7%	16632	1608	288
4	stop+go	1,6%	18600	1944	384	0,4%	18504	1920	384
Summe DTV*			11.790				11.779		

*) Differenz zwischen DTV-S1, DTV-S2 durch Rundung auf ganze Kfz je Rechenschritt

Abbildung 2-12: UVM-EF – Zeitanteile und Verkehrsbelastungen nach Szenarien

Leipziger Straße

Eine Gesamtauswertung der Zeitanteile der ermittelten Verkehrsdichten zeigt im Vergleich beider Szenarien Abbildung 2-13 für den Streckenabschnitte A1b (vor dem Dosierungsquerschnitt) und Abbildung 2-14 für den Streckenabschnitt A2 (nach dem Dosierungsquerschnitt), jeweils für das Zeitintervall Montag-Freitag 06:30-08:30 Uhr.

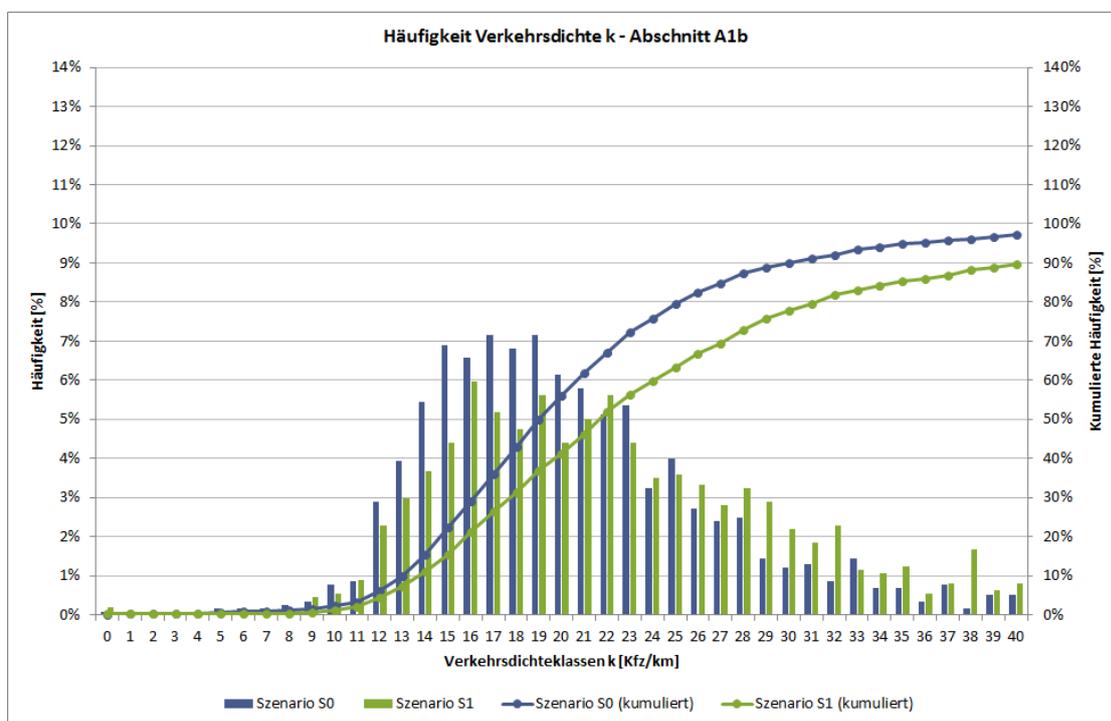


Abbildung 2-13: UVM-EF – Zeitanteile der Verkehrsdichte nach Szenarien – Abschnitt A1b

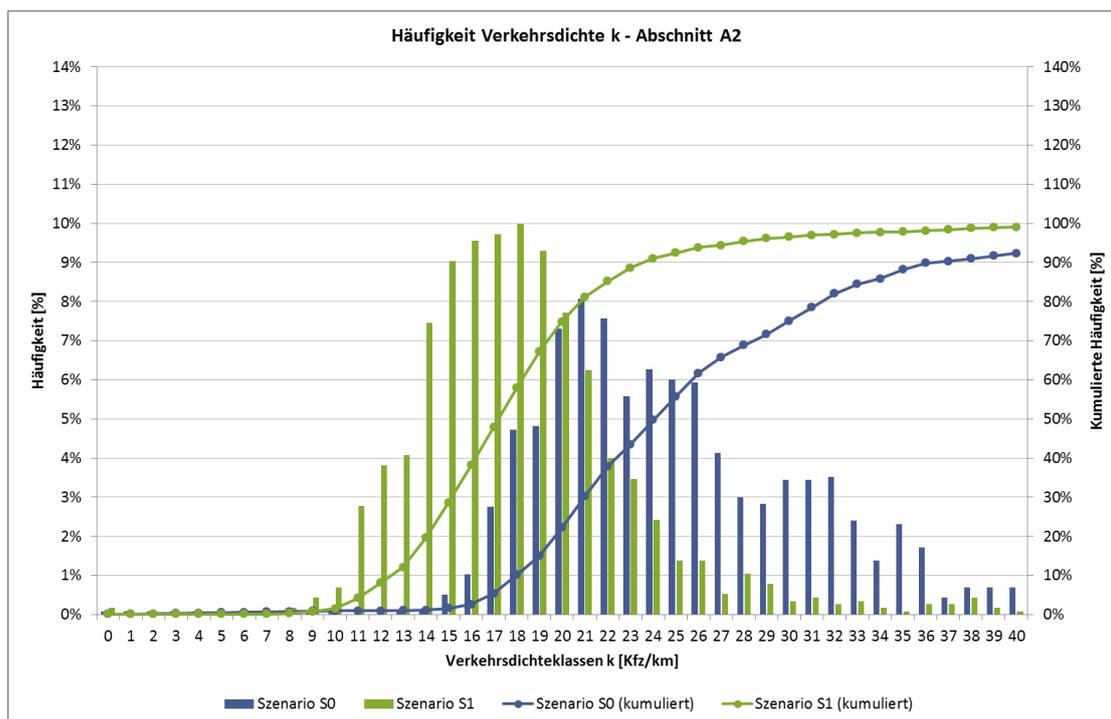


Abbildung 2-14: UVM-EF – Zeitanteile der Verkehrsdichte nach Szenarien – Abschnitt A2

Durch die Zuflussdosierung erhöhen sich im Abschnitt A1b erwartungsgemäß die Verkehrsdichten im Zulauf auf den Dosierungsquerschnitt. Gleichzeitig verringern sich im Abschnitt A2 (d. h. im umweltsensiblen Bereich) erwartungsgemäß die Verkehrsdichten im Nachlauf des Dosierungsquerschnittes. Die höheren Verkehrsdichten verschieben sich damit durch die Zuflussdosierung stromaufwärts vor den Dosierungsquerschnitt, was deren verkehrliche Wirksamkeit belegt.

Als Grundlage für die Emissionsberechnung wurden differenziert nach den beiden Szenarien S0 und S1 die ermittelten Zeitanteile der einzelnen LOS-Stufen sowie die zugehörigen Verkehrsbelastungen über den Untersuchungszeitraum aggregiert für:

- Zeitraum Z1:
Montag bis Freitag, jeweils von 06:30 Uhr bis 08:30 Uhr (Abbildung 2-15)
- Zeitraum Z2:
Montag bis Sonntag, jeweils von 00:00 Uhr bis 24:00 Uhr (Abbildung 2-16)

Für den Zeitraum Z1 sind die angegebenen Verkehrsstärken mittlere Stundenwerte für die Tageskategorie Montag-Freitag (194 von 365 Tagen, vgl. Abbildung 2-10) bezogen auf das Zeitintervall 06:30-08:30 Uhr. Für den Zeitraum Z2 sind die angegebenen Verkehrsstärken mittlere Stundenwerte für alle Tageskategorien (365 Tage) bezogen auf das Zeitintervall 00:00-24:00 Uhr, d. h. den gesamten Untersuchungszeitraum.

Danach ergibt sich für den Zeitraum Z1 im Abschnitt A1b (vor Dosierungsquerschnitt) im Vergleich von Szenario S0 zu S1 eine Verringerung des Zeitanteils der LOS-Stufe 1+2 (flüssiger Verkehr, dichter Verkehr) von 75,6% (42,8+32,8%) auf 59,7% (31,2+28,5%), während die Zeitanteile für die LOS-Stufen 3+4 (gesättigter Verkehr, Stop+Go) steigen. Im Abschnitt A2 (nach Dosierungsquerschnitt) ist die Tendenz wie

erwartet umgekehrt. Hier tritt die angestrebte Erhöhung des Zeitanteils der LOS-Stufe 1+2 (flüssiger Verkehr, dichter Verkehr) von 49,9% (10,3+39,6%) auf 91,1% (57,9+33,2%) ein (vgl. auch Abbildung 2-17).

Datenbasis		Zeitraum 01.08.2013-31.07.2014, Mo-Fr, 06:30-08:30 Uhr (ohne Schulferien)														
Szenario		Szenario S0														
Abschnitt		Abschnitt A1a (670 m)				Abschnitt A1b (900 m)				Abschnitt A2 (960 m)						
Verkehrssituation		t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]			
LOS	Name		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ
1	fluessig	57,2%	390	40	13	443	42,8%	533	54	18	605	10,3%	360	32	12	404
2	dicht	37,1%	494	50	17	561	32,8%	671	69	23	763	39,6%	481	43	16	540
3	gesaettigt	4,7%	491	50	17	558	14,2%	743	76	25	844	25,3%	572	51	19	642
4	stop+go	1,0%	499	51	17	567	10,2%	754	77	26	857	24,8%	629	56	21	706
Summen absolut			434	44	15	493		631	64	21	716		528	47	18	593
Summen prozentual		100%	88,1%	8,9%	3,0%	100%	100%	88,2%	8,9%	2,9%	100%	100%	89,1%	7,9%	3,0%	100%

Datenbasis		Zeitraum 01.08.2013-31.07.2014, Mo-Fr, 06:30-08:30 Uhr (ohne Schulferien)														
Szenario		Szenario S1														
Abschnitt		Abschnitt A1a (670 m)				Abschnitt A1b (900 m)				Abschnitt A2 (960 m)						
Verkehrssituation		t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]			
LOS	Name		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ
1	fluessig	51,4%	389	40	13	442	31,2%	541	55	18	614	57,9%	485	44	16	545
2	dicht	40,8%	485	50	17	552	28,5%	653	67	22	742	33,2%	577	52	19	648
3	gesaettigt	6,2%	466	48	16	530	18,1%	684	70	23	777	5,5%	617	55	21	693
4	stop+go	1,6%	439	45	15	499	22,2%	681	70	23	774	3,4%	641	58	22	721
Summen absolut			433	45	15	493		631	64	21	716		528	48	17	593
Summen prozentual		100%	87,9%	9,1%	3,0%	100%	100%	88,2%	8,9%	2,9%	100%	100%	89,0%	8,1%	2,9%	100%

Abbildung 2-15: UVM-EF – Zeitanteile und Verkehrsbelastungen nach Szenarien – Spitzenstunden (Mo-Fr, 06:30-08:30 Uhr, ohne Ferien)

Datenbasis		Zeitraum 01.08.2013-31.07.2014, Mo-So, 00:00-24:00 Uhr														
Szenario		Szenario S0														
Abschnitt		Abschnitt A1a (670 m)				Abschnitt A1b (900 m)				Abschnitt A2 (960 m)						
Verkehrssituation		t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]			
LOS	Name		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ
1	fluessig	89,7%	183	19	6	208	84,5%	211	22	7	240	79,4%	190	17	6	213
2	dicht	7,9%	457	47	16	520	13,2%	527	54	18	599	15,1%	495	44	17	556
3	gesaettigt	1,6%	505	52	17	574	1,7%	635	65	22	722	3,6%	575	52	19	646
4	stop+go	0,8%	518	53	18	589	0,6%	689	70	23	782	1,9%	614	55	21	690
Summen absolut			213	22	7	242		263	27	9	299		258	23	8	289
Summen prozentual		100%	88,0%	9,1%	2,9%	100%	100%	88,0%	9,0%	3,0%	100%	100%	89,2%	8,0%	2,8%	100%

Datenbasis		Zeitraum 01.08.2013-31.07.2014, Mo-So, 00:00-24:00 Uhr														
Szenario		Szenario S1														
Abschnitt		Abschnitt A1a (670 m)				Abschnitt A1b (900 m)				Abschnitt A2 (960 m)						
Verkehrssituation		t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]				t [%]	q [Kfz/h]			
LOS	Name		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ		PKW	LNF	SNF	Σ
1	fluessig	89,4%	183	19	6	208	83,8%	209	21	7	237	82,2%	200	18	7	225
2	dicht	8,1%	457	47	16	520	12,9%	518	53	18	589	14,7%	507	46	17	570
3	gesaettigt	1,7%	504	51	17	572	1,9%	624	64	21	709	2,4%	585	53	20	658
4	stop+go	0,8%	514	53	18	585	1,4%	675	69	23	767	0,7%	623	56	21	700
Summen absolut			213	22	7	242		263	27	9	299		257	23	9	289
Summen prozentual		100%	88,0%	9,1%	2,9%	100%	100%	88,0%	9,0%	3,0%	100%	100%	88,9%	8,0%	3,1%	100%

Abbildung 2-16: UVM-EF – Zeitanteile und Verkehrsbelastungen nach Szenarien – Jahreswerte (Mo-So, 00:00-24:00 Uhr)

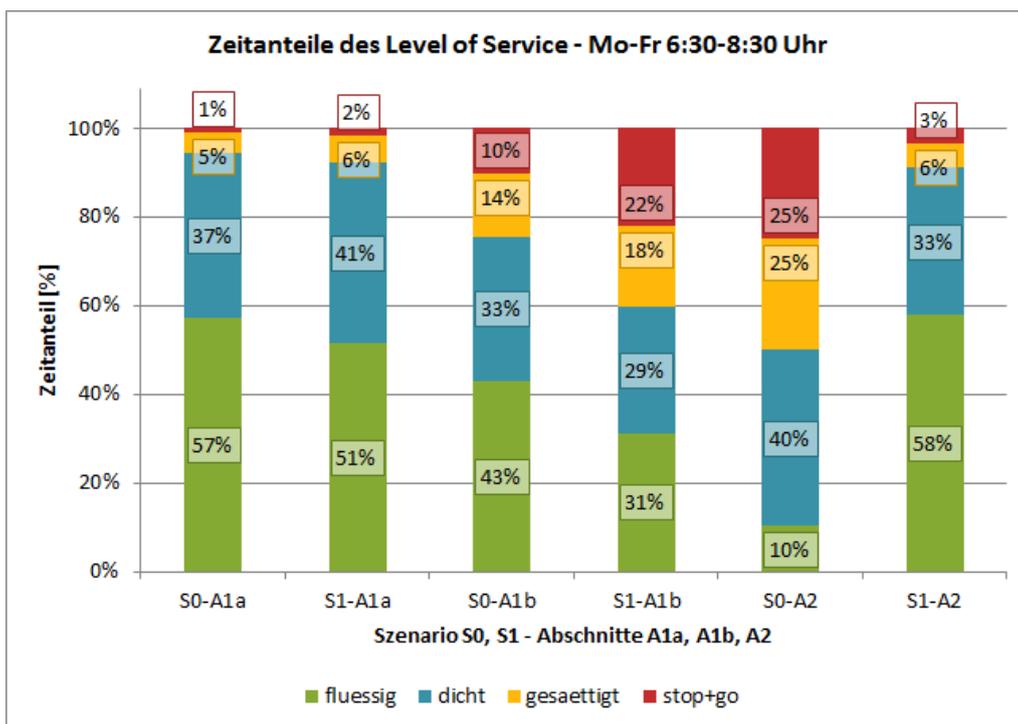


Abbildung 2-17: UVM-EF – Zeitanteile des LOS im Szenarienvergleich

2.2.2.3 Lufthygienische Wirkungsanalyse

Talstraße / Bergstraße

Die emissionsseitigen Wirkungen der bereits zu Beginn der Pilotmaßnahme realisierten Grundkoordinierung (Szenario S1), der umweltorientierten Verkehrssteuerung mit optimierter Koordinierung und Zuflussdosierung (Szenarien S2 und S3) und der ergänzend untersuchten verkehrsorganisatorischen Maßnahme eines Fahrverbotes für schwere Nutzfahrzeuge sind in Abbildung 2-18 im Vergleich zum Bezugsfall (2012) ohne Koordinierung (Szenario S0) für verschiedene Schadstoffkomponenten dargestellt.

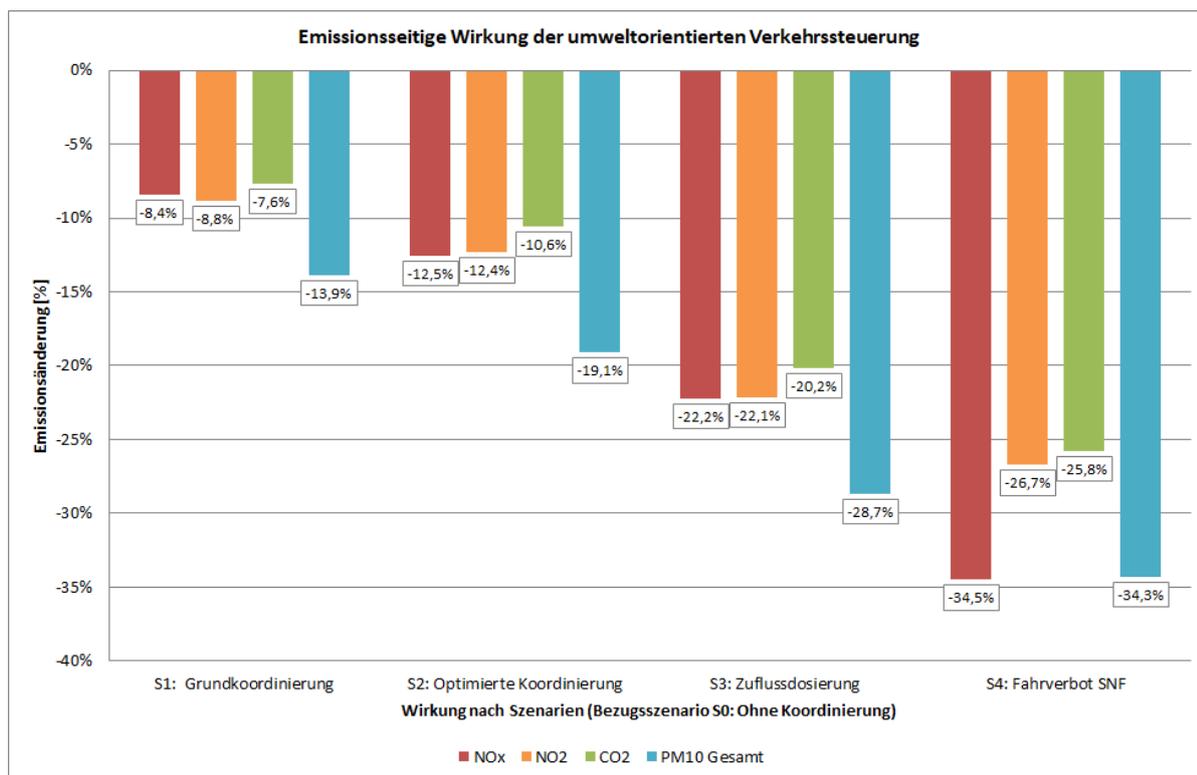


Abbildung 2-18: UVM-EF – Emissionsseitige Wirkungen – Pilot I

Die immissionsseitigen Wirkungen für Stickstoffdioxid zeigt Abbildung 2-18.

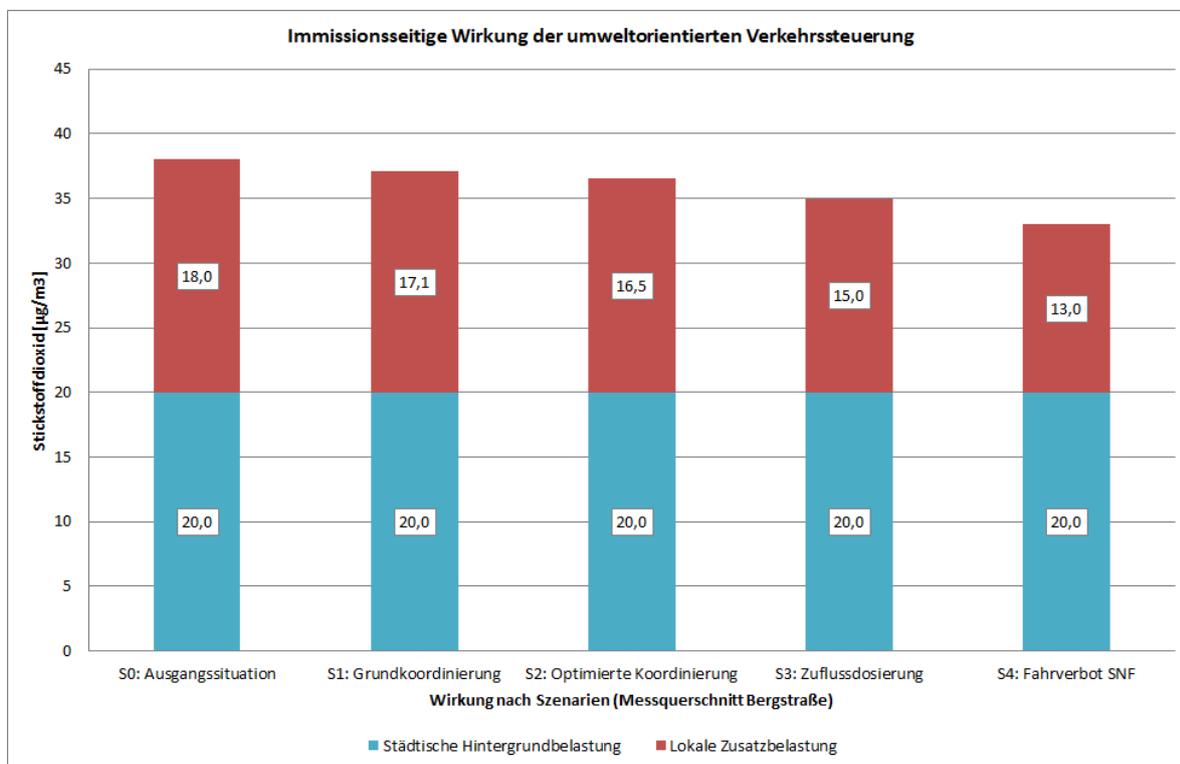


Abbildung 2-19: UVM-EF – Immissionsseitige Wirkungen – Pilot I

Leipziger Straße

Die emissionsseitigen Wirkungen der realisierten Zuflussdosierung (Szenario S1) ist in Abbildung 2-20 im Vergleich zum Bezugsfall ohne Zuflussdosierung (Szenario S0) für verschiedene Schadstoffkomponenten dargestellt.

In der Abbildung wird (von links nach rechts) differenziert in die stromaufwärts des Dosierungsquerschnittes liegenden Streckenabschnitte A1a/A1b und den stromabwärts des Dosierungsquerschnittes liegenden Streckenabschnitt A2 sowie die resultierende Gesamtbilanz.

Bei NO_x sind die Emissionen im Abschnitt A1a 2% höher, im Abschnitt A1b 10% höher und im Abschnitt A2 23% geringer im Vergleich zum Szenario S0. Bei NO₂ und CO₂ sind fast die gleichen prozentualen Veränderungen festzustellen. Bei Betrachtung der Emissionsergebnisse des Feinstaubes PM_{10, Gesamt} sind die Werte im Abschnitt A1a 2% höher, im Abschnitt A1b 12% höher und im Abschnitt A2 um 27% geringer.

Im Vergleich der beiden Szenarien ist zu erkennen, dass sich im Abschnitt A1a/A1b die Emissionen aufgrund der „beabsichtigten“ Rückstauung leicht/merklich erhöhen, demgegenüber aber im Abschnitt A2 hinter dem Dosierungsquerschnitt aufgrund des optimierten Verkehrsflusses (Verstetigung) deutlich reduzieren. Dies wirkt sich im Abschnitt A2 beim Szenario S1 besonders günstig auf die Feinstaubbelastung PM_{10, Gesamt} aus. Neben dem Vorteil der Verlagerung von Schadstoffen von einem kritischen Bereich mit dichter Wohnbebauung, schlechter Durchlüftung und einer engen Straßenschlucht in einen weniger kritischen Bereich ist zusätzlich – und das übersteigt die Erwartungen – die Gesamtbilanz der untersuchten Emissionen bezogen auf ein Jahr zwischen 5% und 6% zurückgegangen.

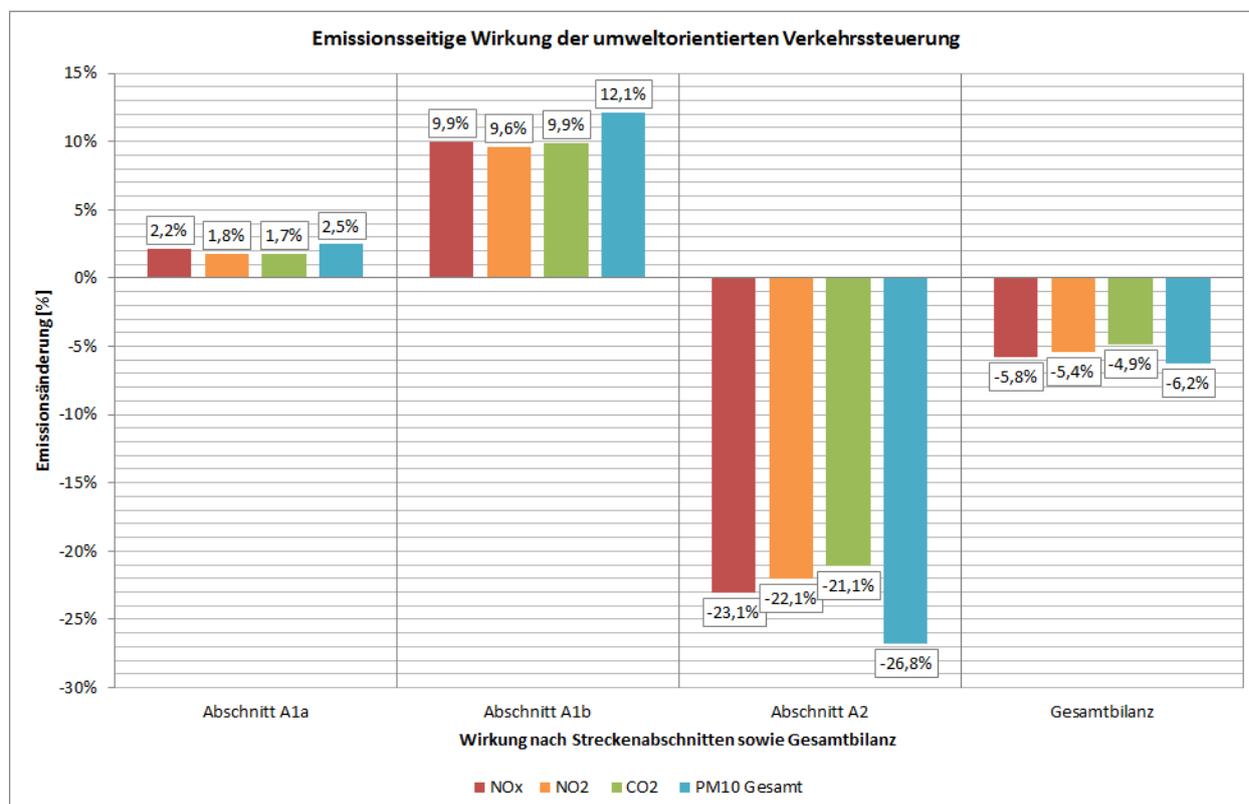


Abbildung 2-20: UVM-EF – Emissionsseitige Wirkungen – Pilot II

Die immissionsseitigen Wirkungen für Stickstoffdioxid zeigt Abbildung 2-21. Die maßgebliche Wirkung zeigt sich am Messquerschnitt Altonaer Straße (umweltsensibler Bereich) mit einer Reduzierung der Immissionsbelastung um $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. auf 92,6% des Bezugswertes im Szenario S0.

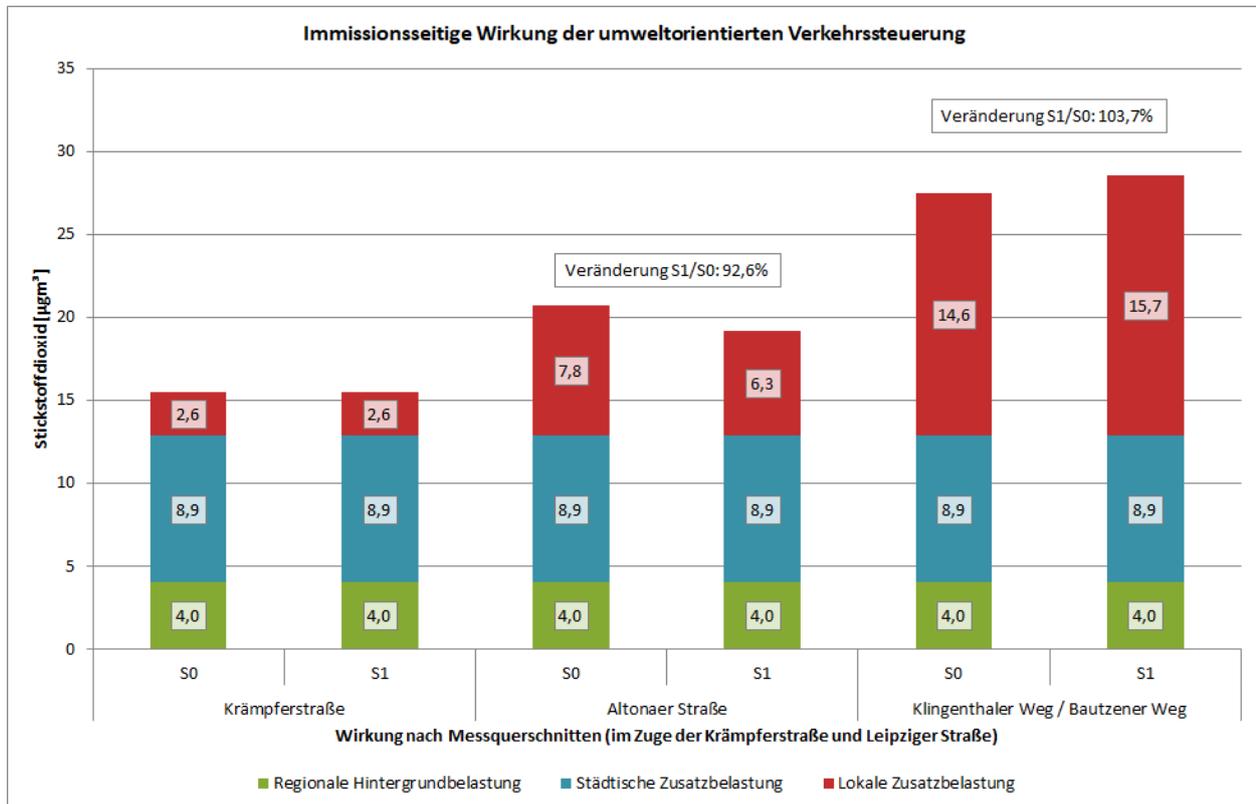


Abbildung 2-21: UVM-EF – Immissionsseitige Wirkungen – Pilot II

2.2.3 Fazit

Eine Reduzierung der verkehrsbedingten Emissionen wird vor allem dann erreicht, wenn man in kritischen Bereichen einen flüssigen Verkehrsablauf realisieren kann, der in der Konsequenz auch eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs des motorisierten Verkehrs bedeutet.

In diesem Kontext sind kritische Bereiche z. B. der Streckenabschnitt in der Bergstraße mit einer 4% Steigung oder eine typische enge Straßenschlucht mit verdichteter Wohnbebauung der Leipziger Straße zwischen Am Alten Nordhäuser Bahnhof und der Stauffenbergallee (Stadtring), bei denen ein unstetiger Verkehrsfluss besonders gravierende negative Auswirkungen hat.

Zur Verstetigung des Verkehrsflusses und somit zur Vermeidung emissionssensitiver Fahrzustände in dem zuvor genannten Abschnitt der Leipziger Straße wurde ein Ansatz der Zuflussdosierung gewählt, der nur so viel Verkehr in den kritischen Bereich einfahren lässt, der umweltverträglich und im Regelfall ohne Behinderungen bis zur Stauffenbergallee und darüber hinaus bis zum Juri-Gagarin-Ring abgewickelt werden kann. Der sich als Konsequenz in Spitzenzeiten aufbauende Rückstau vor dem Dosierungsquerschnitt Am Alten Nordhäuser Bahnhof reduziert zwar als negative Begleiterscheinung

die gewonnenen Einsparpotentiale nach dem Dosierungsquerschnitt, insgesamt bleibt aber in der Gesamtbilanz eine Verbesserung der Gesamtemissionen und die gewünschte deutliche Verbesserung der Gesamt-Immissionsbelastung im kritischen Bereich durch Verlagerung in unkritische, weniger bewohnte und besser durchlüftete Streckenabschnitte.

Mit den aus den beiden ausgewerteten UVM-Pilotvorhaben in Erfurt gewonnenen positiven Erfahrungen zur Umsetzung einer umweltsensitiven Verkehrssteuerung wurden die Voraussetzungen zur Umsetzung eines gesamtstädtischen umweltorientierten Verkehrsmanagements in Erfurt geschaffen. Nach Abschluss der Pilotmaßnahmen wurde die UVM-Steuerung in beiden Straßenzügen 2014 in den Regelbetrieb überführt. Als zweite Radialstraße wurde die Nordhäuser Straße in 2015 mit einer UVM-Steuerung ausgestattet. Die gesamtstädtische Umsetzung zur Verstetigung des Verkehrsflusses und der Ausstattung weiterer acht Radialstraßen wird in den Jahren 2017-2021 realisiert.

2.3 Potsdam

2.3.1 Vorgehensweise zur Evaluation

Die Evaluation der umweltorientierten Steuerung in der Landeshauptstadt Potsdam fand über einen Zeitraum von zwei Jahren statt. Es wurde eine quartalsweise Auswertung der Jahre 2013 und 2014 gewählt. Dies hat den Vorteil, dass innerhalb der Evaluation notwendige System- und Strategieverbesserungen kurzfristig umgesetzt werden konnten. Nachteilig ist, dass eine starke Abhängigkeit von äußeren Einflüssen auf den Verkehr und von den vorhandenen jahreszeitlichen Schwankungen in der Verkehrsmenge bestand.

Betrachtet und ausgewertet wurden sowohl die verkehrlichen Wirkungen als auch die Wirkungen auf die Umwelt.

2.3.1.1 Verkehr

Durch eine verkehrliche Wirkungsanalyse wurden die verkehrlichen Effekte der Umweltorientierten Verkehrssteuerung (UVS) Potsdam in den Hotspots Behlertstraße und Zeppelinstraße ermittelt und bewertet. Hierbei handelt es sich sowohl um Veränderungen in der Verkehrsqualität (Ziel: Verstetigung) als auch um Veränderungen in den Verkehrsmengen (Ziel: Reduktion).

Bei der Evaluation der UVS in der Landeshauptstadt Potsdam erfolgte eine Gegenüberstellung auf Basis von Verkehrsdaten aus dem Zeitraum der umweltorientierten Steuerung in 2013 und 2014 mit dem Referenzjahr 2010, in dem es noch keine UVS-Installation gab. Folgende Sachverhalte wurden untersucht:

- Entwicklung der werktäglichen Kfz- und Lkw-Verkehrsstärken,
- Entwicklung der Jahresmittelwerte der gemessenen Kfz- und Lkw-Verkehrsstärken,
- Entwicklung der Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke,
- Entwicklung der Verkehrsqualität und
- Berechnung der Verkehrsentwicklung im Betrachtungsquartal in 30-Minuten-Intervallen als Eingangsgröße für die lufthygienische Wirkungsanalyse.

Im Vergleich der Verkehrsdaten aus 2013 und 2014 zu den Verkehrsdaten aus dem Referenzjahr 2010 wurden diese erheblich durch die Einwohner- und Wirtschaftsentwicklung sowie durch die Bautätigkeit beeinflusst. Dies betrifft nicht nur die Anzahl motorisierter Fahrten insgesamt, sondern auch den Anteil Lkw. So wurden bspw. in den Daten der TEU-Detektion aus den Jahren 2013 und 2014 sehr starke Schwankungen der Lkw-Verkehrsstärken beobachtet.

Um diese Einflüsse zu selektieren, wurden die verkehrlichen Effekte im Vergleich zur Referenz aufgeteilt, in die Teilaspekte Verstetigung des Kfz-Verkehrs, Drosselung der Verkehrsstärke und Lkw-Verkehr. Somit konnten die auf die UVS ursächlich zurückzuführenden Wirkungen auf die Drosselung und Verstetigung von den übrigen, nicht durch die Maßnahmen des UVS in Potsdam beeinflussbaren Effekte beim Lkw-Verkehr getrennt werden. Entsprechend wurden die drei in Abbildung 2-22 beschriebenen Szenarien zur Referenz, zum Einfluss der Verstetigung und zum Einfluss der Effekte durch Verstetigung und Kfz-Veränderung unter Beibehaltung des Lkw-Anteils berechnet.

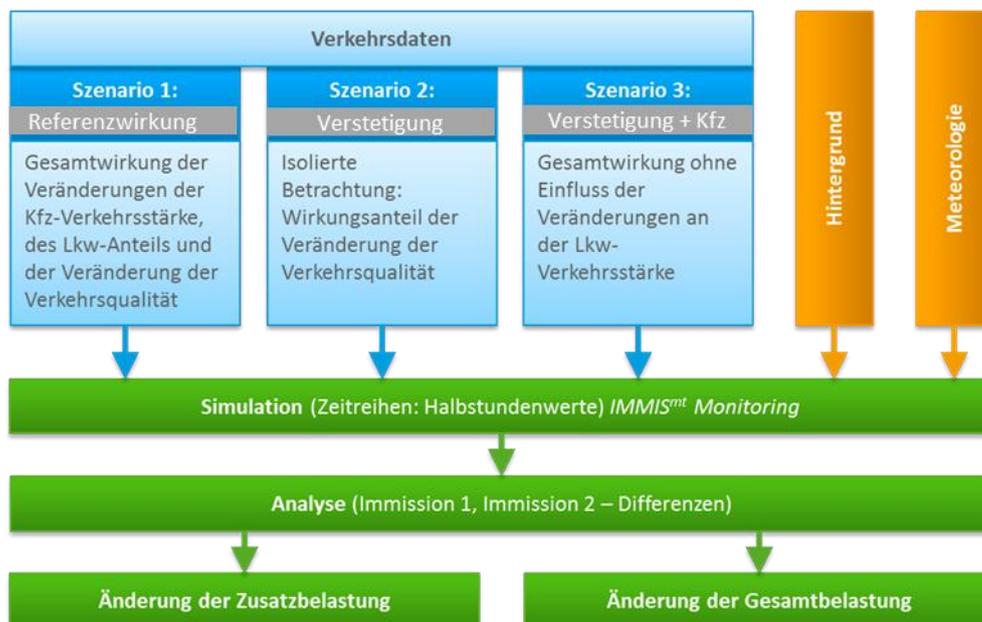


Abbildung 2-22: Szenarien der Wirkungsanalyse in Potsdam

Für die lufthygienische Wirkungsanalyse wurden somit für alle drei Szenarien jeweils die beiden Fälle „ohne UVS“ und „mit UVS“ als Zeitreihe von Halbstundenwerten der Kfz-Verkehrsstärke, der Lkw-Verkehrsstärke und der Aufteilung der Kfz-Verkehrsstärke auf die vier LOS-Stufen des HBEFA 3.1 bereitgestellt.

2.3.1.2 Umwelt

Die Analyse der verkehrlichen Wirkungen auf die Luftschadstoffbelastung wurde analog zum Vorgehen in Braunschweig mit dem Simulator-Modul des Monitoringsystem IMMIS^{mt} durchgeführt (siehe Kapitel 2.1.1.2).

Dabei wurden die aus dem Monitorbetrieb archivierten Eingangsdaten zur gemessenen Meteorologie und Vorbelastung an der städtischen Hintergrundstation verwendet und die Daten zum Verkehrsgeschehen aus den aufbereiteten Daten des Verkehrsmonito-

ring übernommen. Das Schema der Wirkungsanalyse ist in Abbildung 2-2 dargestellt. In dieser Analyse bleiben damit die Einflussfaktoren Meteorologie und Vorbelastung auf die jeweilige Gesamtbelastung im Hotspot gleich, so dass die Veränderungen in der Gesamtbelastung allein auf die geänderten Eingangsdaten zum Verkehr zurückzuführen sind.

2.3.2 Ergebnisse

2.3.2.1 System

Im Rahmen der Evaluation konnte festgestellt werden, dass die Landeshauptstadt Potsdam über ein zuverlässig arbeitendes Umweltorientiertes Verkehrssteuerungssystem verfügt. Es hat dazu beigetragen, dass in den Jahren 2013 und 2014 in der Behlertstraße insgesamt 1.170 UVS-Schaltungen an den LSA ausgelöst wurden. In der Zeppelinstraße-Breite Straße wurden in den Jahren 2013/2014 insgesamt 1.702 UVS-Schaltungen an den LSA ausgelöst (Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5: Gegenüberstellung der UVS-Schaltungen in den Regelbereichen

	Behlertstraße	Zeppelinstraße
Anzahl der Schaltungen	1 170	1 702
Gesamtdauer der Schaltungen	3 443 Stunden	2 170 Stunden
Schaltungen pro Tag	1.6	2.3
Mittlere Dauer je Schaltung	3 Stunden	1,3 Stunden
Mittlere zeitlicher Aktivierungsanteil bezogen auf das Gesamtjahr	19.7 %	12.4 %

Die tageszeitliche Verteilung der UVS Schaltungen zeigt Abbildung 2-23. Deutlich ausgeprägt sind die Früh- und Nachmittagsspitze, in denen bedingt durch das jeweilig hohe Verkehrsaufkommen besonderer Handlungsbedarf besteht. In der Frühspitze wurden an über 350 Tagen, in der Nachmittagsspitze an über 400 Tagen beider Jahre UVS-Schaltungen ausgelöst.

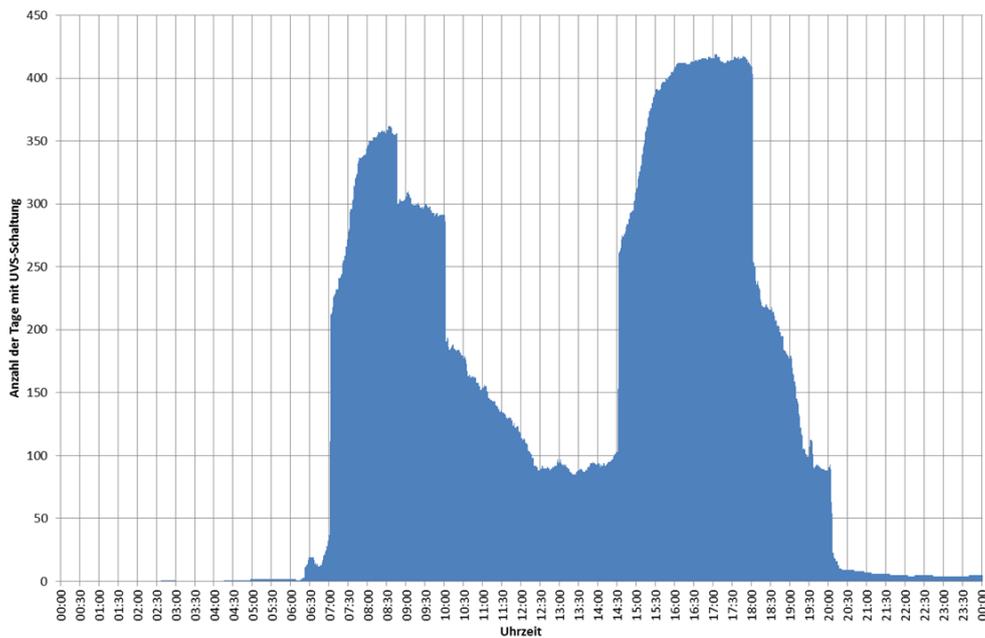


Abbildung 2-23: Tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen 2013/2014 im Regelbereich 5 - Behlertstraße

Die tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen in der Zeppelinstraße zeigt Abbildung 2-24. Ebenfalls deutlich ausgeprägt ist die Früh- und Nachmittagsspitze.

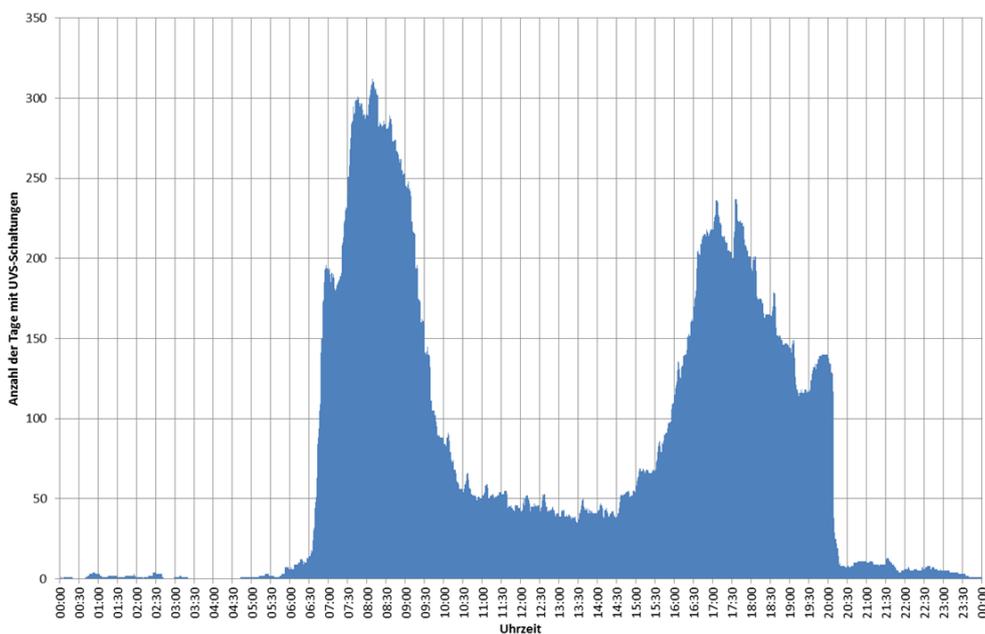
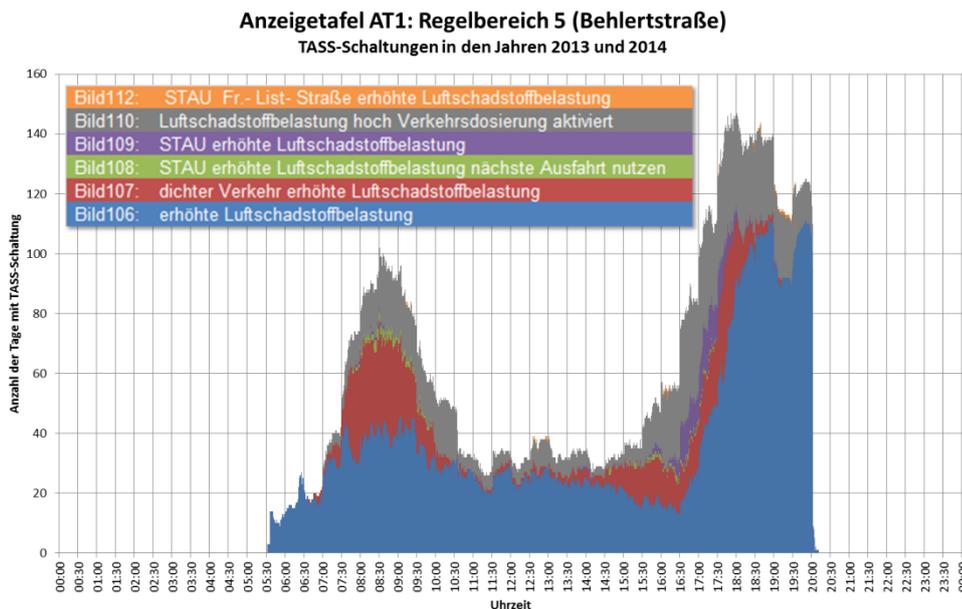


Abbildung 2-24: Tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen 2013/2014 im Regelbereich 2 – Zeppelinstraße-Breite Straße

Parallel zu den UVS-Schaltungen wurden die Potsdamer Fahrzeugführer über Informationstafeln über erhöhte Luftschadstoffbelastungen und die Aktivierung der umweltorien-

tierten LSA-Schaltung informiert. Insgesamt wurden 1 898 Schaltungen in den Jahren 2013 und 2014 ausgelöst. Die Dauer der Schaltungen betrug 1 152 Stunden. Die tageszeitliche Verteilung der Schaltungen am Beispiel der Anzeigetafel AT1 - Regelbereich Behlerstraße zeigt Abbildung 2-25.



**Abbildung 2-25: Tageszeitliche Verteilung der UVS-Schaltungen 2013/2014
 Anzeigetafel AT1: Regelbereich 5 (Behlerstraße)**

2.3.2.2 Verkehrliche Wirkungsanalyse

Die Jahresmittelwerte der gemessenen Kfz- und der Lkw-Verkehrsstärken sind für die Hotspot-Bereiche in der Tabelle 2-6 dargestellt. Die Messstelle Zeppelinstraße (neu) wurde im Januar 2013 errichtet.

Tabelle 2-6: Jahresmittelwerte der Verkehrsstärken in den Hotspot-Bereichen²

	2010	2013	2014
Behlerstraße			
Kfz/Tag	17300	16 500	16 600
Lkw/Tag	1210	880	810
Lkw-Anteil	7.0%	5.3%	4.9%
Zeppelinstraße (alt)			
Kfz/Tag	24500	24 000	24 300
Lkw/Tag	830	900	900
Lkw-Anteil	3.4%	3.8%	3.7%
Zeppelinstraße (neu)			
Kfz/Tag		25 700	26 000
Lkw/Tag		1230	1080
Lkw-Anteil		4.8%	4.2%

Aus den Jahresmittelwerten kann in den Hotspot-Bereichen keine deutliche Veränderung der Kfz-Verkehrsstärken seit 2010 abgeleitet werden. Grundsätzlich sind die Mittelwerte nur bedingt aussagekräftig, da durch Sondereinflüsse (z. B. Baustellen, Einführung Tempo 30, Deaktivierung UVS-Schaltung) in den Hotspot-Bereichen große Schwankungen der täglichen Verkehrsstärken zu verzeichnen waren (Abbildung 2-26).

Deutlich wird jedoch, dass in der Behlerstraße mit Einführung der Umweltorientierten Verkehrssteuerung die Belastungsspitzen aus dem Jahr 2010 (um 21.500 Kfz/Tag bis 22.500 Kfz/Tag) in den Jahren 2013 und 2014 nicht mehr festgestellt werden konnten.

² Dies sind nur Anhaltswerte, jedoch keine DTV-Angaben, da die Datenbasis unvollständig war. Die Verkehrsmessung am Ort „neu“ war in 2010 noch nicht im Betrieb

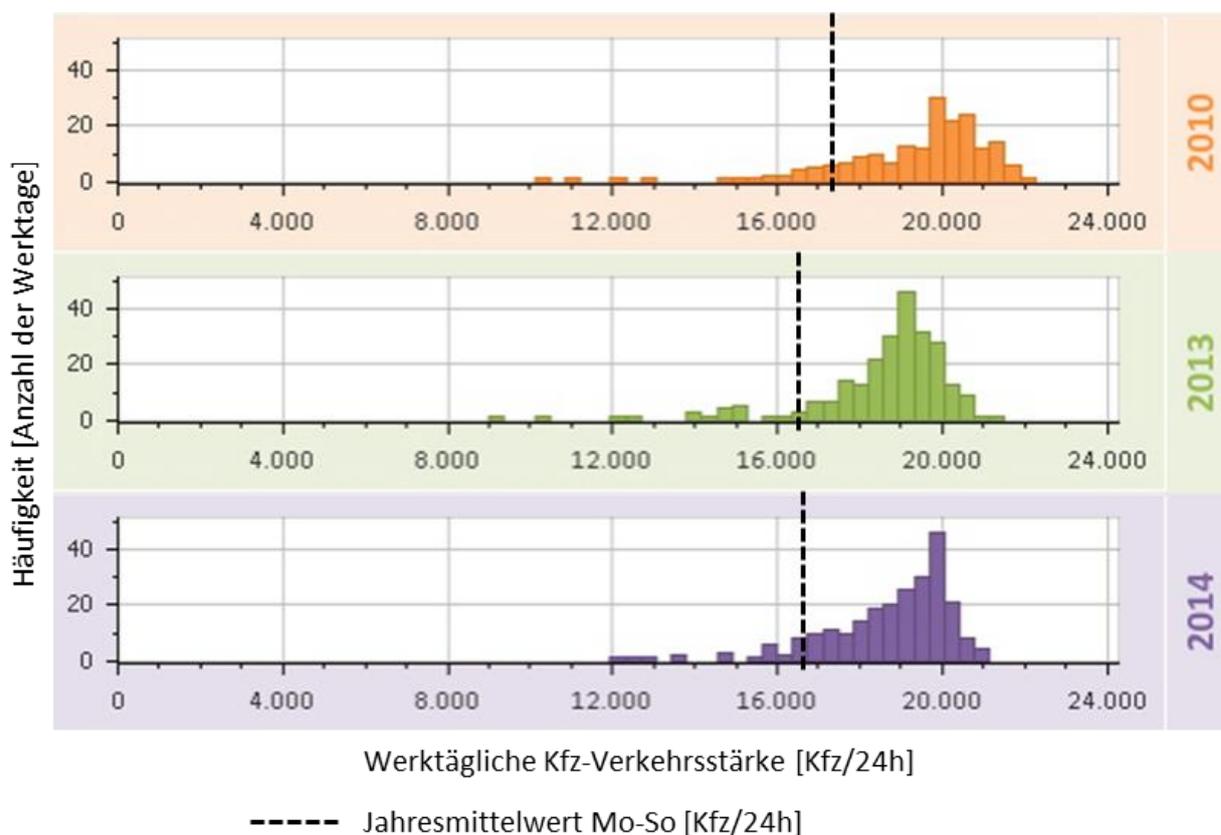


Abbildung 2-26: Verteilung der Kfz-Verkehrsstärken in der Behlertstraße

Neben der reinen Verkehrsstärke wurde auch die Qualität des Verkehrsablaufs im Sinne des Verkehrszustands nach HBEFA 3.1 untersucht. Ziel dieses Schritts war es, zu erkennen, ob eine Verstetigung des Verkehrsflusses eingetreten ist und in welchem Umfang. Das Verkehrssituationsschema nach HBEFA 3.1 unterscheidet hierzu vier Verkehrszustände: frei, dicht, gesättigt und Stop+Go.

Tabelle 2-7 zeigt die Entwicklung des Verkehrszustands für die Behlertstraße.

Tabelle 2-7: Entwicklung der Verkehrsqualität in der Behlertstraße vor und nach Einführung der UVS

Verkehrszustand nach HBEFA 3.1	Jahr	Q1 Mo-Fr	Q2 Mo-Fr	Q3 Mo-Fr	Q4 Mo-Fr	Jahresmittelwert Mo-So
LOS1 (frei)	2010	2,8%	2,3%	2,6%	2,8%	4,0%
	2013	3,2%	2,7%	2,9%	2,8%	4,3%
	2014	2,8%	2,6%	3,1%	2,8%	4,2%
LOS2 (dicht)	2010	80,8%	63,8%	77,5%	73,2%	76,6%
	2013	88,8%	88,4%	92,4%	86,5%	89,5%
	2014	90,5%	86,6%	84,7%	85,5%	87,7%
LOS3 (gesättigt)	2010	13,3%	27,4%	13,4%	18,3%	15,2%
	2013	6,7%	8,3%	3,4%	9,3%	5,4%
	2014	5,8%	9,5%	9,1%	9,1%	6,5%
LOS4 (Stop+Go)	2010	3,1%	6,5%	6,5%	5,6%	4,2%
	2013	1,3%	0,6%	1,3%	1,4%	0,9%
	2014	1,0%	1,4%	3,1%	2,6%	1,6%

Gegenüber dem Jahr 2010 haben sich 2013 sowohl der LOS3 als auch der LOS4 für die Behlertstraße deutlich verringert. Selbst wenn im Jahr 2014 im Vergleich zu 2013 teils wieder leichte Anstiege zu verzeichnen waren, haben sich die Anteile gegenüber 2010 fast überall annähernd halbiert.

Auch in der Zeppelinstraße ist sowohl stadtauswärts, als auch stadteinwärts eine abnehmende Tendenz bei LOS3 und LOS4 erkennbar (Tabelle 2-8 und Tabelle 2-9), wenn auch nicht so deutlich wie in der Behlertstraße, da die Stop+Go-Gefahr ohnehin geringer ist als in der Behlertstraße.

Tabelle 2-8: Entwicklung der Verkehrsqualität in der Zeppelinstraße (stadteinwärts) vor und nach Einführung der UVS

Verkehrszustand nach HBEFA 3.1	Jahr	Q1 Mo-Fr	Q2 Mo-Fr	Q3 Mo-Fr	Q4 Mo-Fr	Jahresmittelwert Mo-So
LOS1 (frei)	2010	3,5%	2,6%	2,6%	3,6%	4,4%
	2013	3,0%	3,0%	3,2%	3,5%	4,5%
	2014	3,7%	3,0%	3,2%	3,2%	4,5%
LOS2 (dicht)	2010	92,8%	97,0%	95,3%	91,5%	93,6%
	2013	95,4%	96,7%	96,4%	94,7%	94,7%
	2014	95,5%	96,4%	95,4%	94,0%	94,3%
LOS3 (gesättigt)	2010	2,1%	0,4%	1,1%	3,5%	1,3%
	2013	1,2%	0,1%	0,3%	1,2%	0,5%
	2014	0,8%	0,5%	0,6%	2,2%	0,8%
LOS4 (Stop+Go)	2010	1,6%	0,1%	1,0%	1,4%	0,7%
	2013	0,4%	0,2%	0,1%	0,6%	0,2%
	2014	0,1%	0,1%	0,8%	0,6%	0,3%

Tabelle 2-9: Entwicklung der Verkehrsqualität in der Zeppelinstraße (stadtauswärts) vor und nach Einführung der UVS

Verkehrszustand nach HBEFA 3.1	Jahr	Q1 Mo-Fr	Q2 Mo-Fr	Q3 Mo-Fr	Q4 Mo-Fr	Jahresmittelwert Mo-So
LOS1 (frei)	2010	3,8%	3,7%	4,0%	4,3%	5,6%
	2013	3,7%	3,2%	3,7%	4,0%	5,3%
	2014	4,1%	3,6%	3,6%	3,5%	5,3%
LOS2 (dicht)	2010	94,8%	92,6%	94,0%	90,6%	92,0%
	2013	96,2%	95,8%	93,3%	95,8%	93,8%
	2014	95,7%	95,8%	95,9%	96,0%	94,4%
LOS3 (gesättigt)	2010	1,4%	3,0%	1,9%	5,0%	2,2%
	2013	0,1%	1,0%	2,8%	0,2%	0,9%
	2014	0,2%	0,6%	0,4%	0,5%	0,3%
LOS4 (Stop+Go)	2010	0,1%	0,8%	0,1%	0,1%	0,2%
	2013	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%
	2014	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

2.3.2.3 Lufthygienische Wirkungsanalyse

Für die Hotspots Behlertstraße und Zeppelinstraße, in denen die Umweltorientierte Verkehrssteuerung über den Evaluationszeitraum zur Anwendung kam, werden die Emissionsminderungen vergleichend für den Fall mit UVS gegenüber dem Fall ohne UVS dargestellt. Dies ist nicht die Veränderung seit dem Jahr 2010, sondern die Gegenüberstellung der Fälle mit und ohne UVS für die Jahre 2013 und 2014 (Referenzwirkung). Hierbei wurden Vergleichstage herangezogen, bei denen im übrigen Stadtgebiet eine

ähnliche Verkehrsstärkeverteilung vorherrschte wie an den Untersuchungstagen in 2013 und 2014.

Neben der Referenzwirkung wurde auch der Wirkungsanteil ermittelt, der nur auf die Verstetigung zurückzuführen ist, sowie der Anteil, der die Veränderung des Lkw-Anteils unberücksichtigt lässt (Verstetigung und Veränderung der Kfz-Verkehrsstärke). Die Verstetigung war die beabsichtigte Hauptwirkung der UVS. Auf den Lkw-Anteil hingegen hat die UVS keinen Einfluss, dies ist ein externer Effekt.

Tabelle 2-10: Lufthygienische Wirkung der UVS auf die Situation in Potsdam

2013	Behlertstraße		Zeppelinstraße*	
	NO ₂	PM10	NO ₂	PM10
Referenzwirkung	-11,1%	-5,4%	1,0%	0,2%
Wirkungsanteil Verstetigung	-4,3%	-2,5%	-0,4%	-0,2%
Wirkungsanteil Verstetigung + Kfz	-2,2%	-1,5%	+0,1%	0,0%
2014	Behlertstraße		Zeppelinstraße*	
	NO ₂	PM10	NO ₂	PM10
Referenzwirkung	-14,9%	-5,9%	0,1%	0,0%
Wirkungsanteil Verstetigung	-1,6%	-1,0%	-0,2%	-0,3%
Wirkungsanteil Verstetigung + Kfz	-4,6%	-2,1%	-1,0%	-0,3%

* Messstelle Zeppelinstr. (alt) liegt südwestlich des Hotspots

2.3.3 Fazit

Im Ergebnis der Evaluation des Monitoringsystems ist festzustellen, dass mit den eingeleiteten Maßnahmen ein Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssituation und damit auch eine Minderung der Emissionsbelastung in den Hotspots erreicht werden konnte. Aus der Evaluation ergibt sich für den Hotspot Behlertstraße eine auf das UVM zurückführbare Minderung des NO₂-Jahresmittelwerts von 4,3 % in 2013 und 1,6 % in 2014. Bei PM10 liegt die Minderung in 2013 bei 2,5 % und in 2014 bei 1 %. Die deutliche Minderung in der Referenzwirkung wird durch entsprechend niedrigere Verkehrsstärken und Lkw-Anteile hervorgerufen. Im Hotspot Zeppelinstraße sind die Jahresmittelwerte von NO₂- und PM10 durch die mit dem UVM erreichte Verstetigung des Verkehrs in 2013 um 0,4 % bzw. 0,2 % und in 2014 um 0,2 % bzw. 0,3 % vermindert worden. Dem entgegen stand in der Zeppelinstraße aber eine Erhöhung der Belastung durch eine Erhöhung der Lkw-Anteile im Vergleich zum verkehrlichen Referenzfall aus 2010.

Dennoch konnten die Potenziale zur Minderung der Luftschadstoffbelastung noch nicht vollständig ausgeschöpft werden, da die angestrebte gleichzeitige Minderung des Verkehrsaufkommens nicht wie vorgesehen eingesetzt hat. Die externen Rahmenbedingungen in der Landeshauptstadt Potsdam mit den Einwohnerzuwächsen (31.12.2010: 154.600 Einwohner, 31.12.2014:164.000 Einwohner), dem Zuwachs im Lkw-Verkehr und der umfangreichen Bautätigkeit haben die Möglichkeiten der Umweltorientierten Verkehrssteuerung eingeschränkt.

Insgesamt verfügt Potsdam über wenige Alternativrouten zu den Hotspots. Insbesondere in der Zeppelinstraße waren einer stärkeren Drosselung mit den damit verbundenen Eingriffen in den Pendlerverkehr zwischen der Region und Potsdam (Rückstau) Grenzen gesetzt. Infolge fehlender Alternativrouten führen die Maßnahmen der Umweltorien-

tierten Verkehrssteuerung im Wesentlichen zu einer zeitlichen Verlagerung in den Verkehrsstärken, jedoch nicht zu einer spürbaren Änderung im DTV.

Deshalb besteht die Zielsetzung, erweiterte Maßnahmenpakete für modale und zeitlich/räumliche Verlagerungen umzusetzen.

2.4 Wittenberg

2.4.1 Vorgehensweise zur Evaluation

Modelltechnische Vorabschätzungen zur Wirksamkeit wurden im Rahmen der Erstellung des Aktionsplanes Wittenberg 2008 durchgeführt.

Es wurden aber nach Auskunft des Betreibers des Umweltmoduls ProFet/PROKAS^{online} (LAU Sachsen-Anhalt) bisher noch keine systematischen Untersuchungen zur Wirksamkeit der UVM auf die Luftschadstoffsituation in Wittenberg im Realbetrieb durchgeführt.

Die verkehrliche Wirkung wurde im Rahmen einer Verkehrszählkampagne ermittelt. Weiterhin wurden durch das LAU die Aktivierungsraten der temporären LKW-Umleitung dokumentiert.

2.4.2 Ergebnisse

2.4.2.1 System

Nachfolgend sind die Aktivierungsraten der UVM Wittenberg mit Stand 30.11.2016 dokumentiert.

Aktionsplan Lutherstadt Wittenberg

Übersicht über die erfolgten Aktivierungen / Deaktivierungen der LKW-Umleitungsmaßnahme in der Dessauer Straße

Jahr 2007 (18 Tage gesamt / 18 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	30.03.07	02.04.07	4
2	20.11.07	23.11.07	4
3	18.12.07	27.12.07	10

Jahr 2008 (20 Tage gesamt / 20 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	04.01.08	07.01.08	5
2	24.01.08	25.01.08	2
3	13.02.08	15.02.08	3
4	21.02.08	22.02.08	2
5	02.06.08	03.06.08	2
6	06.11.08	07.11.08	2
7	15.12.08	18.12.08	4

Jahr 2009 (20 Tage gesamt / 20 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	07.01.09	15.01.09	9
2	03.02.09	06.02.09	4
3	06.04.09	09.04.09	4
4	15.04.09	17.04.09	3

Jahr 2010 (22 Tage gesamt / 22 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	13.01.10	18.01.10	6
2	21.01.10	28.01.10	8
3	17.02.10	19.02.10	3
4	10.03.10	12.03.10	3
5	02.11.10	03.11.10	2

Jahr 2011 (66 Tage gesamt / 47 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	31.01.11	03.02.11	4
2	16.02.11	07.03.11	20
3	16.03.11	17.03.11	2
4	22.03.11	24.03.11	3
5	19.04.11	26.04.11	8
6	24.10.11	02.11.11	10
7	07.11.11*	25.11.11	19

* aufgrund von Baumaßnahmen auf der Umleitungsstrecke und der damit verbundenen Vollsperrung des Heuweges konnte die Maßnahme in diesem Zeitraum nicht umgesetzt werden

Jahr 2012 (37 Tage gesamt / 37 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	30.01.12	09.02.12	11
2	10.02.12	15.02.12	6
3	15.03.12	19.03.12	5
4	22.03.12	26.03.12	5
5	22.10.12	25.10.12	4
6	14.11.12	19.11.12	6

Jahr 2013 (12 Tage gesamt / 12 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	14.01.13 ¹⁾	18.01.13	4
2	24.01.13	28.01.13	5
3	06.03.13 ²⁾	08.03.13	1
4	14.03.13 ³⁾	15.03.13	1
5	10.04.13 ⁴⁾	11.04.13	1

¹⁾ 16 Uhr, aktiv ab 15.01.13 08.00 Uhr

²⁾ 15 Uhr, aktiv ab 07.03.13 10.25 Uhr

³⁾ 13 Uhr, aktiv ab 14 Uhr

⁴⁾ 10.45 Uhr, aktiv ab 13 Uhr bis 11.04.13 10.45 Uhr

Jahr 2014 (37 Tage gesamt / 33 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage insgesamt
1	22.01.14 ¹⁾	27.01.14	5
2	28.01.14 ²⁾	03.02.14	5
3	27.02.14 ³⁾	07.03.14 ⁴⁾	8
4	10.03.14 ⁵⁾	14.03.14	5
5	31.03.14 ⁶⁾	07.04.14	8
6	13.11.14 ⁷⁾	17.11.14	-
7	01.12.14 ⁸⁾	05.12.14	2

¹⁾ Maßnahme ab 23.01.14 7.30 Uhr aktiv

²⁾ Maßnahme ab 29.01.14 8.10 Uhr aktiv

³⁾ Maßnahme ab 28.02.14 7.30 Uhr aktiv

⁴⁾ Maßnahme ab 10.30 Uhr inaktiv, Grund waren für den 08. März geplante Baumaßnahmen (Heuweg)

⁵⁾ Maßnahme ab 10.30 Uhr wieder aktiv (Belastung war nach wie vor hoch)

⁶⁾ Maßnahme ab 31.03.14 12.45 Uhr aktiv

⁷⁾ Maßnahme wegen Baumaßnahme in der Dobschützstraße (bis 19.12.14) nicht aktiviert

⁸⁾ Maßnahme ab 02.12.14 7.45 Uhr bis 04.12.14 8.00 Uhr trotz Baumaßnahme aktiv

Jahr 2015 (17 Tage gesamt / 13 Tage aktiv)

Nr.	Aktivierung am:	Deaktivierung am:	Tage aktiv
1	20.01.15 ¹⁾	23.01.15	2
2	16.02.15 ²⁾	20.02.15	4
3	10.03.15 ³⁾	11.03.15	-
4	19.03.15 ³⁾	20.03.15	-
5	24.03.14 ³⁾	26.03.15	-
6	30.10.15 ⁴⁾	06.11.15	7

¹⁾ Maßnahme ab 21.01.15 8.00 Uhr bis 23.01.15 11:30 Uhr aktiv

²⁾ Maßnahme ab 16.02.15 10.30 Uhr bis 20.02.15 12 Uhr aktiv

³⁾ Maßnahme aufgrund von Bauaktivitäten auf der Umleitungsstrecke (02.03. – 28.03.15) nicht aktiv

⁴⁾ Maßnahme ab 30.10.15 11 Uhr bis 06.11.15 10:45 Uhr aktiv

Bis zum Stichtag 30.11.2016 war im Jahr 2016 noch keine Aktivierung durchgeführt worden.

Die Abbildung 2-27 fasst die Aktivierungsraten grafisch zusammen.

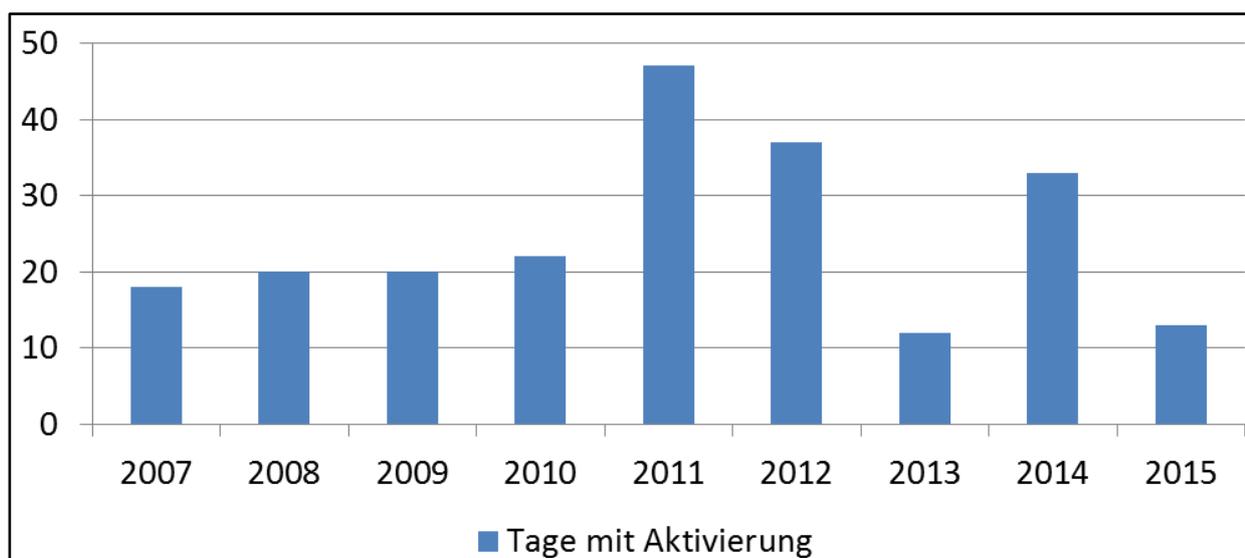


Abbildung 2-27: Tage mit Aktivierung der LKW-Umfahrung in Wittenberg

2.4.2.2 Verkehrliche Wirkungsanalyse

Die verkehrliche Wirkung wurde im Rahmen einer Verkehrszählkampagne ermittelt. Dabei wurden durch das LAU die Aktivierungsraten der temporären LKW-Umleitung dokumentiert. Dabei wurde eine ca. 60%ige Befolgungsrate festgestellt (siehe Abschnitt 8.2.1).

2.4.2.3 Lufthygienische Wirkungsanalyse

Eine systematische lufthygienische Wirkungsanalyse hat bisher nicht stattgefunden.

2.4.3 Fazit

Das UVM-System Wittenberg ist seit 2007 im operationellen Betrieb. Die Aktivierungsraten variieren von Jahr zu Jahr. Die geringste Aktivierung war im Jahr 2013 (12 Tage) und die höchste im Jahr 2011 (47 Tage) zu verzeichnen.

Die verkehrliche Wirkung wurde durch eine Stichprobenmessung nachgewiesen. Dabei wurde eine ca. 60%ige Befolgungsrate festgestellt.

Eine systematische lufthygienische Wirkungsanalyse hat bisher nicht stattgefunden.

2.5 Steiermark

2.5.1 Vorgehensweise zur Evaluation

Die österreichische Autobahnfinanzierungsgesellschaft ASFINAG betreibt seit Dezember 2008 im Großraum Graz eine immissionsabhängige Verkehrsbeeinflussungsanlage (VBA Umwelt Steiermark) mit vier getrennt geschalteten Teilkorridoren (Abbildung 2-28). Diese liegen auf der A2 (Süd-Autobahn) und der A9 (Pyhrn-Autobahn). Ziel der Maßnahme ist, nach IG-L Steiermark (2014), „die durch den Verkehr verursachte Immissionsbelastung durch die Luftschadstoffe PM10 (Feinstaub) und NO₂ (Stickstoffdioxid) zu verringern und durch eine Reduktion der Höchstgeschwindigkeit auf Teilabschnitten der A2 Süd-Autobahn sowie der A9 Pyhrn-Autobahn die Luftqualität zu verbessern.“

Die Konzeption des Umweltmoduls, das wiederum aus zwei Modulen besteht, wird in der VBA-Verordnung (IG-L Steiermark, 2014) beschrieben. In Modul 1 wird auf der Basis gemessener PM10-Halbstundenwerte der vergangenen drei Stunden der gleitende Dreistundenmittelwert für die nächste Halbstunde vorhergesagt. Erreicht oder überschreitet dieser Vorhersagewert einen PM10-Schwellenwert, führt dies zu einer Aktivierung der Geschwindigkeitsbeschränkung. Wird der Schwellenwert nicht überschritten oder werden keine gültigen Vorhersagewerte übermittelt, wird Modul 2 aktiviert.

In Modul 2 wird der NO_x-Immissionsbeitrag der „PKW-ähnlichen“ Fahrzeuge für die kommende Halbstunde vorhergesagt. Eingangsdaten dafür sind die vorhergesagten Kfz-Emissionen, die auf der Basis der von Vorhersagen der Verkehrsdaten berechnet werden und die im Weiteren beschriebenen Vorhersagen der meteorologischen Situation. Für jeden der vier Korridore ist ein NO_x-Schwellenwert definiert, bei dessen Erreichen oder Überschreitung das Tempolimit im jeweiligen Korridor aktiviert wird.

Mit FVT (2016) wurde die Evaluierung der VBA Umwelt Steiermark für den Betriebszeitraum 2015 (1.1.-31.12.2015) veröffentlicht. Dabei wurde untersucht, „ob die Anlage spezifikationsgemäß geschaltet hat und ob die geforderte Maßnahmenwirksamkeit erreicht wurde“.

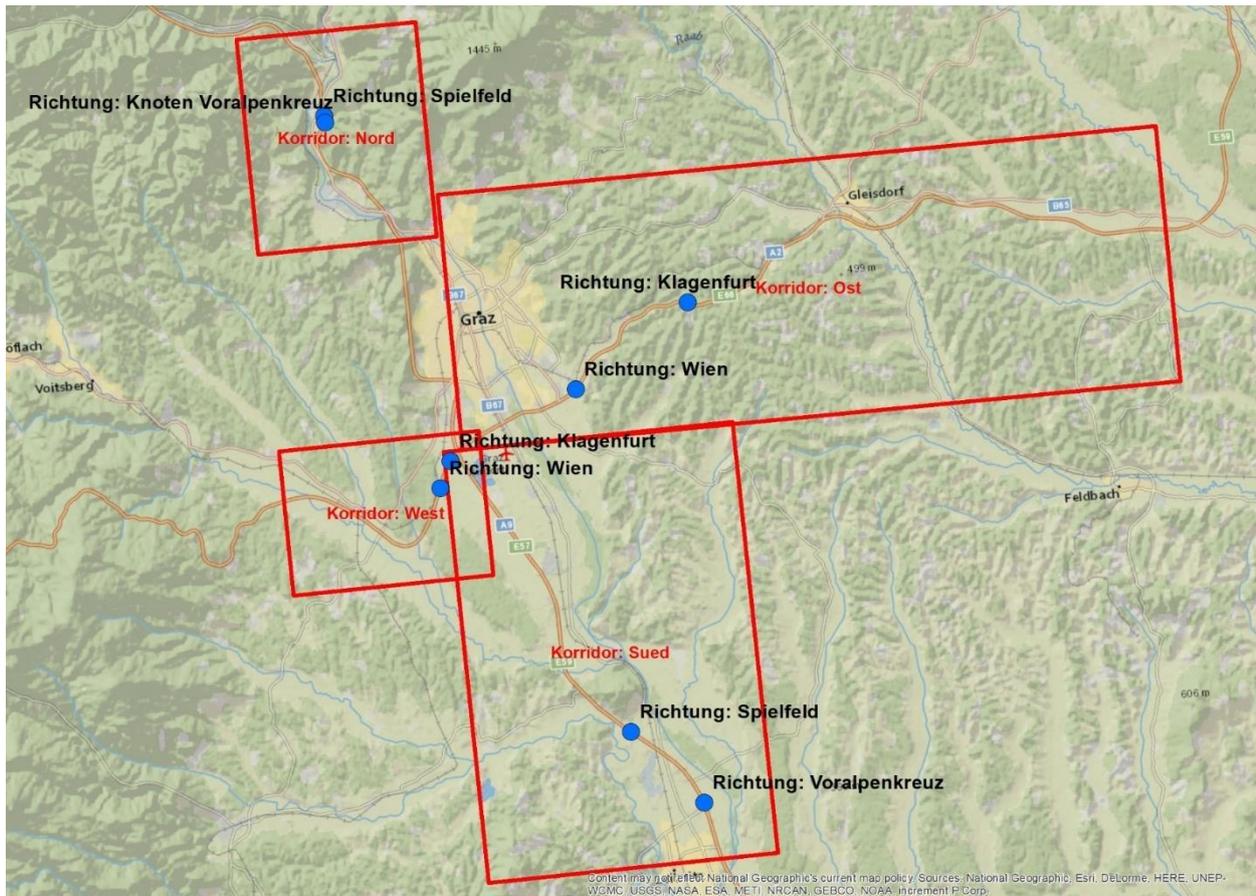


Abbildung 2-28: Darstellung der Teilkorridore und Messpunkte für die Verkehrserhebungen

2.5.2 Ergebnisse

2.5.3 Verkehr

Die Berechnung der Kfz-Emissionen erfolgt mit dem Modell NEMO. Dazu werden zunächst die Verkehrsdaten für das nächste Schaltintervall vorhergesagt. Diese Vorhersagedaten werden, laut FVT (2016), von der ASFINAG anhand von dynamischen Ganglinien erstellt. Auf Basis dieser Verkehrsemissionen wird der Beitrag des lokalen Kfz-Verkehrs an der NO_x -Immissionsbelastung bestimmt.

Für die Modellierung der Maßnahmenwirksamkeit werden zusätzlich die Verkehrsbelastungen auf allen Straßenabschnitten im Berechnungsgebiet von der ASFINAG aus Ergebnissen eines Verkehrsmodells zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Evaluierung des Betriebszeitraums 2015 (FVT, 2016) wurde keine Validierung der Vorhersage der Verkehrsdaten vorgenommen. In Tabelle 2-11 sind die von einem temporären Tempolimit betroffenen Fahrzeuge auf den vier Teilkorridoren für das Bezugsjahr 2015 und als Referenz der Zeitraum 2011/2012 aufgelistet. 2015 waren danach deutlich mehr Fahrzeuge von dem flexiblen Tempolimit betroffen.

Tabelle 2-11: Von dem flexiblen Tempolimit betroffene Fahrzeuge

Korridor	Evaluierungszeitraum	
	2015	2011/2012
Ost	44%	30%
West	69%	28%
Süd	31%	24%
Nord	46%	20%

Für die Berechnung der Kfz-Emissionen wurden die durchschnittlichen Geschwindigkeiten dem HBEFA entnommen. Diesen Werten liegen umfangreiche Messungen auf österreichischen Straßen bzw. Autobahnen zugrunde. Nach dem HBEFA wird bei einem Tempolimit von 130 km/h von Pkw im Durchschnitt eine Geschwindigkeit von 118 km/h gefahren und bei einem Tempolimit von 100 km/h eine Geschwindigkeit von 103 km/h was eine Reduktion von 15 km/h bedeutet.

Der Vergleich mit den gemessenen Geschwindigkeiten, wie sie in Tabelle 2-12 aufgeführt sind, zeigt, dass diese Werte von den HBEFA-Annahmen abweichen. Die Wirkung des Tempolimits führt zu einer durchschnittlichen Reduktion der Geschwindigkeit aufgrund des Tempolimits von 6-14 km/h, die damit geringer ausfällt als im HBEFA angenommen.

Damit fällt die Reduktion der Geschwindigkeit aufgrund des Tempolimits etwas niedriger aus als es im HBEFA angesetzt wird. Für die Berechnung der Kfz-Emissionen wurden aber die Geschwindigkeiten bzw. die entsprechenden Emissionsfaktoren aus dem HBEFA verwendet.

Tabelle 2-12: Auswirkungen des Tempolimits auf die durchschnittliche Pkw-Geschwindigkeit in km/h aus FVT (2016)

Tabelle 5-7: Auswirkung des Tempolimits auf die durchschnittliche Geschwindigkeit der PKWs in km/h

		Ost	West	Süd	Nord
Querschnitt	Richtung 1	MQ_A02_1_169,90	MQ_A02_1_186,63	MQ_A09_1_208,02	MQ_A09_1_165,98
	Richtung 2	MQ_A02_2_178,48	MQ_A02_2_188,23	MQ_A09_2_213,80	MQ_A09_2_166,33
mittlere Geschwindigkeit T130	Richtung 1	119,0	107,1	119,3	120,9
	Richtung 2	110,7	114,9	117,9	121,1
mittlere Geschwindigkeit T100	Richtung 1	104,8	101,5	107,5	111,0
	Richtung 2	103,1	104,1	109,5	112,3

2.5.4 Umwelt

2.5.4.1 Meteorologie

Die meteorologischen Vorhersagedaten werden für ausgewählte Aufpunkte von Austro Control erstellt und halbstündlich übertragen. Diese Vorhersagedaten wurden in FVT (2016) mit meteorologischen Messdaten der beiden Landesmessstationen Eurostar und Gratkorn verglichen: Die Daten der Messstationen weisen demnach „allgemein geringere Windgeschwindigkeiten und einen höheren Kalmenanteil auf als die Vorhersagedaten der Austro Control. Für den Teilkorridor Ost ergibt sich ein ähnlicher Tagesgang der Windgeschwindigkeitsverteilung. Hinsichtlich der Verteilung der Windrichtungen zeigt sich jedoch eine größere Abweichung, da der Teilkorridor Ost eine Dominanz der Winde

aus NNW aufweist und bei der Station Eurostar die meisten Winde aus SSE kommen. Für den Teilkorridor Nord zeigt sich hingegen eine ähnliche Windrichtungsverteilung, wobei diese um einen Sektor verschoben ist“. Bereits nach der vorangegangenen Evaluierung (FVT, 2013), die den Betriebszeitraum 2011/2012 umfasste, wurden, nach (FVT, 2016), die Parameter im Algorithmus an die höheren Windgeschwindigkeiten der Austro Control angepasst.

2.5.4.2 Schalthäufigkeiten

Die Schwellenwerte zur Schaltung von Tempo 100 sind in Tabelle 2-13 aufgeführt. Die Schalthäufigkeiten im Jahr 2015 in den vier Korridoren zeigt Abbildung 2-29 (Land Steiermark, 2016) und Tabelle 2-13. Zudem enthält die Abbildung 2-29 die Schalthäufigkeiten im Jahr 2014, hierbei war bis Ende Oktober noch der alte Schaltalgorithmus aktiv.

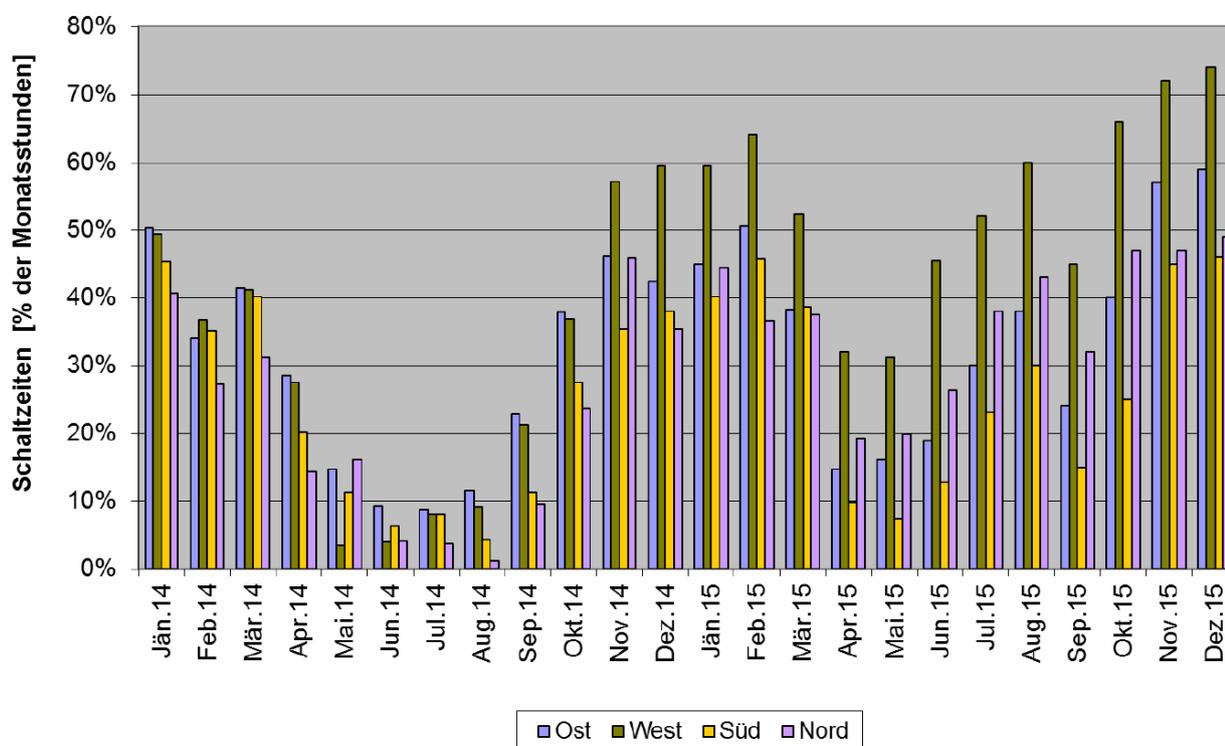


Abbildung 2-29: Schalthäufigkeiten 2014-2015 der VBA Umwelt Steiermark (Land Steiermark, 2016)

2.5.4.3 Maßnahmenwirksamkeit

Auf Basis der Verkehrsdaten und der Schalthäufigkeiten wurde in FVT (2016) die Emissionsreduktion in allen vier Korridoren berechnet (Tabelle 2-13). Zusammenfassend wird in FVT (2016) festgestellt, dass „im gesamten VBA Gebiet im Evaluierungszeitraum 9,1 % der NO_x-Emissionen der Pkws und 4,7% der PM-Auspuffemissionen der Pkws eingespart“ und „außerdem der Kraftstoffverbrauch der Pkws um 4,6% reduziert“ wurde.

Tabelle 2-13: Wirkung der temporären Geschwindigkeitsbeschränkung auf die NO_x-Belastung in Abhängigkeit vom Straßenabstand und im Vergleich zu einer ganzjährigen Aktivierung.

Korridor	Schwellenwert PM10	Schwellenwert NO _x	Aktivierungsrate	Emissionsminderung Pkw			Minderung im Vergleich zu ganzjährig	NO _x -Minderung (µg/m ³) im Abstand	
	µg/m ³	µg/m ³		NO _x	PM10 (Exh.)	CO ₂		30 m	100 m
Ost	50	57.3	35.9%	8.7%	4.5%	4.4%	63%	4 - 5.5	2
West	50	45.8	54.4%	13.6%	7.1%	6.9%	83%	>3	1
Süd	50	26.7	28.2%	6.2%	3.2%	3.1%	51%	2 - 3	1
Nord	50	30.6	36.7%	9.1%	4.8%	4.6%	66%	2 - 3	1

Im Jahresbericht 2016 (Land Steiermark, 2016) wird festgehalten, dass „die Vorgaben der VBA-Verordnung des Bundes (VBA-IG-L, 2007) hinsichtlich der Winterwerte durchgehend erreicht werden konnten. Aber auch die Maßnahmenwirksamkeit für das ganze Jahr von 75% wurde zumindest fast erreicht. Eine Anpassung der Schwellenwerte ist daher nicht erforderlich.“

2.5.5 Datenbereitstellung durch ASFINAG

Für eine weitere Evaluierung des Systems wurden im Juni 2017 Daten des Betreibers ASFINAG zur Verfügung gestellt. Die Datenlieferung beinhalten tabellarische Zeitreihen für das Bezugsjahr 2015 in halbstündiger Auflösung getrennt für die vier Teilkorridore. In den Zeitreihen sind Angaben

- zum Schaltzustand der Verkehrsbeeinflussungsanlage gesamt und getrennt für das Modul 1 und Modul 2,
- zu verschiedenen PM10-Konzentrationswerten aus der Messung und der Prognose, welche für das Modul 1 verwendet werden,
- zum NO_x-Immissionsbeitrag der für das Modul 2 verwendet wird und
- weitere Angaben zu Gesamtemissionen, Verkehrsstärken und meteorologischen Daten enthalten.

Auf Basis dieser Daten wurde im Rahmen der Evaluation in FVT (2016) die bereits oben beschriebene Wirkungsanalyse durchgeführt.

Auf Grundlage der Zeitreihen wurde hier zusätzlich das Prognoseverfahren für die stündliche PM10-Belastung evaluiert. In Abbildung 2-30 sind die prognostizierten halbstündigen PM10-Konzentrationen den Messungen in den vier Teilkorridoren gegenübergestellt worden. Die Erklärungswerte R² liegen in allen vier Gebieten bei rund 90 % und die Regressionsgerade liegt dicht an der Winkelhalbierenden.

Zusätzlich wurden die Daten genutzt um im Rahmen der Analyse von Schwellenwerten in Kapitel 3.5 weitere Auswertungen durchzuführen.

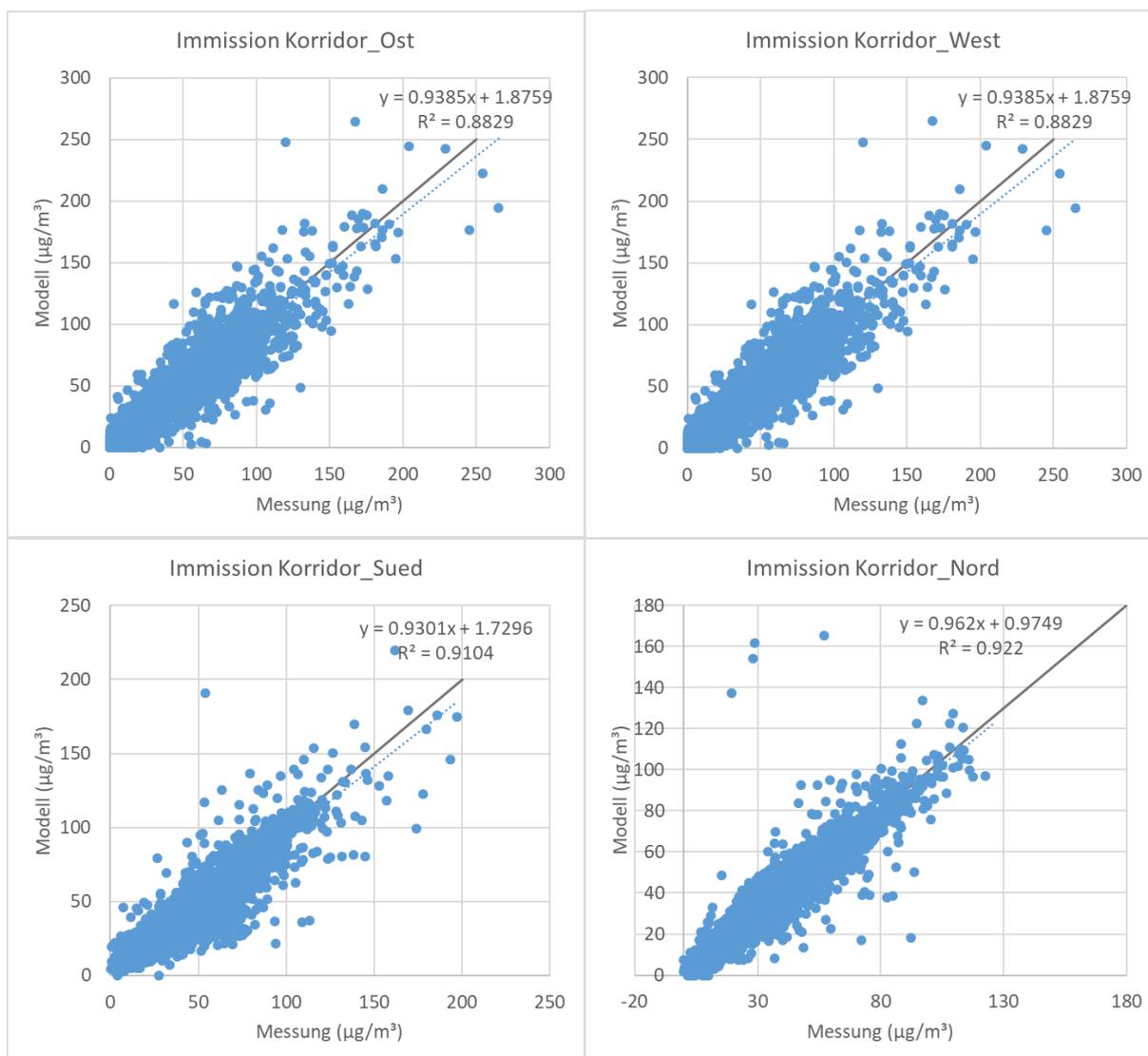


Abbildung 2-30: Gegenüberstellung der prognostizierten halbstündigen PM10-Konzentrationen zu den Messungen in den vier Teilkorridoren.

3 Analyse der Schwellenwerte zur Auslösung der Maßnahmen

Das Minderungspotenzial von UVM-Maßnahmen hängt neben der Höhe der Minderung durch die Maßnahme selbst entscheidend von der Häufigkeit der Aktivierung der Maßnahme ab. Das bedeutet, dass die effektive Wirksamkeit einer Maßnahme vom Auslösemechanismus und der Höhe einer oder mehrerer Auslöseschwellen abhängt. Theoretische Grundlagen dazu sind bereits in Diegmann & Wiegand (2007)³ veröffentlicht. Entsprechende Auswertungen liegen z. B. in Diegmann (2013)⁴ und in Kraus (2015)⁵ vor.

Aus den archivierten Daten der ausgewählten Untersuchungsgebiete werden im Rahmen der hier vorgelegten Evaluierung Variationen von Auslöseschwellen und -mechanismen durchgeführt und daraus Maßnahmenwirkungen berechnet.

Für die Auswertung wird aus Gründen der Praktikabilität für das Daten- und Modellhandling sowie mit Rücksicht auf den Umfang des hier vorgelegten Berichtes jeweils ein Zeitjahr gewählt.

Zunächst werden Aktivierungs- und Minderungsraten soweit verfügbar für den Basisfall aufgezeigt. Der Basisfall stellt hierbei die Situation dar, die im betrachteten Jahr durch des UVM tatsächlich „geschaltet“ worden ist. Anschließend werden Schwellenwerte für die Aktivierung variiert. Diese sind für die auf NO₂-fokussierten UVM

- die Modellwerte der stündlichen NO₂-Gesamtbelastung variiert in 10 µg/m³-Schritten, ggf. mit zeitlicher Begrenzung der Maßnahmen
- die stündliche Verkehrsstärke in Variationen auf Basis sinnvoller Werte je UG
- der stündliche Verkehrszustand als LOS3+LOS4, je UG in sinnvollen Abstufungen
- eventuell auch Kombinationen

bzw. für das auf PM10 fokussierte UVM Wittenberg

- die Modellwerte der PM10-Gesamtbelastung (Tagesmittelwerte) von 40 bis 80 µg/m³ in 10 µg/m³-Schritten

Die verkehrliche Wirkung der jeweils betrachteten Maßnahme je UG wird aus den Ergebnissen der vorliegenden UVM-Evaluationen übernommen bzw. abgeleitet.

Als Ergebnis wird je UG die Variation die Aktivierungsrate in % und die Minderungswirkung (absolut und in %) der jeweiligen Schwellenwertkonfiguration gegenübergestellt.

³ Diegmann, V.; Wiegand, G., 2007: Potenzial dynamischer Verkehrslenkungsmaßnahmen als Instrument der Luftreinhaltung. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 67 Nr. 4, S. 155-161. 2007.

⁴ Diegmann, V., 2013: Potentiale des Umweltorientierten Verkehrsmanagements - eine Übersicht. In: BAST; FGSV (Hrsg.): Luftqualität an Straßen 2013. Tagungsband. Kolloquium der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 20.-21.3.2013 in Bergisch Gladbach. 2013.

⁵ Kraus, Th., 2015: Smart MobiliTy in Thüringen (sMobiliTy). Aufbau und Betrieb der Verkehrsmanagementplattform Erfurt. Verfahrensentwicklung strategische Verkehrssteuerung. pwp-systems GmbH, Bad Camberg / Halle (Saale). 2015.

3.1 Braunschweig

Die Betrachtungen für das UVM Braunschweig werden für das Bezugsjahr 2015 durchgeführt. Dabei wurde die vorhandene Datenbasis aus dem Verkehrs- und Umweltmonitoring soweit wie möglich um Daten aus verschiedenen Datenarchiven ergänzt, so dass nur geringe Datenlücken vorhanden waren.

3.1.1 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsrate bei Variation der NO₂-Schwellenwerte

Um anzugeben, welchen Einfluss die Höhe eines Schwellenwerts z. B. der stündlichen NO₂-Konzentration auf das Minderungspotenzial einer UVM-Maßnahme bezogen auf den NO₂-Jahresmittelwert hat, ist zuerst einmal von Interesse, wie oft definierte Konzentrationswerte überschritten werden. Tabelle 3-1 gibt die Anzahl von Überschreitungen eines NO₂-Stundenmittelwerts aus den Monitordaten für den Altewiekring in Braunschweig in 2015 für Schwellenwerte von 40 µg/m³ bis 100 µg/m³ in 10 µg/m³-Schritten wieder. Zusätzlich ist angegeben, wie groß der Anteil dieser Überschreitung an den untersuchten Jahresstunden ist. Als Datengrundlage dienen 7'727 vollständige Stunden aus dem Monitoringsystem. Ausgewertet wird zum einen der gesamte Zeitraum ganztägig und für den Zeitraum 6 bis 22 Uhr bzw. 22 bis 6 Uhr. Ein NO₂-Stundenwert in Höhe von 40 µg/m³ wird im Gesamtzeitraum in 37.8 % der Stunden überschritten, davon liegen 33.1 % tagsüber in 16 Stunden und nur 4.7 % nachts in 8 Stunden. Je höher der Schwellenwert gesetzt wird, umso geringer wird der Anteil der Überschreitungen in den Nachtstunden im Vergleich zu den Tagstunden. Ab einem Schwellenwert von 60 µg/m³ sinkt er auf etwa 10 % bezogen auf alle Tagesstunden.

Tabelle 3-1: Anzahl von Überschreitungen eines NO₂-Stundenmittelwerts aus den Monitordaten für den Altewiekring in Braunschweig in 2015 mit Anteilsrate an den Jahresstunden (Instantan).

Schwellenwert in µg/m ³	ganztägig		6-22 Uhr		22-6 Uhr	
	Anzahl (h/Jahr)	Rate	Anzahl (h/Jahr)	Rate	Anzahl (h/Jahr)	Rate
40	2919	37.8%	2559	33.1%	360	4.7%
50	1818	23.5%	1602	20.7%	216	2.8%
60	1084	14.0%	960	12.4%	124	1.6%
70	649	8.4%	574	7.4%	75	1.0%
80	387	5.0%	348	4.5%	39	0.5%
90	227	2.9%	206	2.7%	21	0.3%
100	126	1.6%	112	1.4%	14	0.2%

Eine Auslösung von Maßnahmen auf der Basis eines Monitoringsystems ohne eine entsprechende Vorhersage erfolgt immer um eine mess- und rechenbedingte Verzögerung, im Beispiel Braunschweig um 1 Stunde + ca. 15 Minuten. Um diesen Verzögerungseffekt auf die Wirksamkeit des UVM zu analysieren, wird in der im Folgenden beschriebenen Sensitivitätsbetrachtung zum einen angenommen, dass die Aktivierung zum Zeitpunkt der Schwellenwertüberschreitung und damit instantan erfolgt und zum anderen dass die Maßnahme erst mit einer Stunde Verzögerung wirkt.

In Tabelle 3-2 wird die Aktivierungsrate und die Minderungswirkung bei einer instantanen und in Tabelle 3-3 bei einer verzögerten Aktivierung für verschiedene NO₂-Schwellenwerte dargestellt. In

Tabelle 3-4 und Tabelle 3-5 wird eine Aktivierung der Maßnahmen nur im Zeitraum von 6 bis 22 Uhr angenommen.

Tabelle 3-2: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ (ganztäglich, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	2919	37.8%	-1.6	-4.2%
50	1818	23.5%	-1.2	-3.2%
60	1084	14.0%	-0.9	-2.3%
70	649	8.4%	-0.6	-1.6%
80	387	5.0%	-0.4	-1.1%
90	227	2.9%	-0.3	-0.7%
100	126	1.6%	-0.2	-0.4%

Tabelle 3-3: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ (ganztäglich, 1 Stunde verzögert)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	2919	37.8%	-1.4	-3.8%
50	1818	23.5%	-1.1	-2.8%
60	1084	14.0%	-0.7	-2.0%
70	649	8.4%	-0.5	-1.3%
80	387	5.0%	-0.3	-0.9%
90	227	2.9%	-0.2	-0.6%
100	126	1.6%	-0.1	-0.3%

Tabelle 3-4: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ (6 – 22 Uhr, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	2559	33.1%	-1.4	-3.8%
50	1602	20.7%	-1.1	-2.9%
60	960	12.4%	-0.8	-2.1%
70	574	7.4%	-0.5	-1.4%
80	348	4.5%	-0.4	-1.0%
90	206	2.7%	-0.3	-0.7%
100	112	1.4%	-0.2	-0.4%

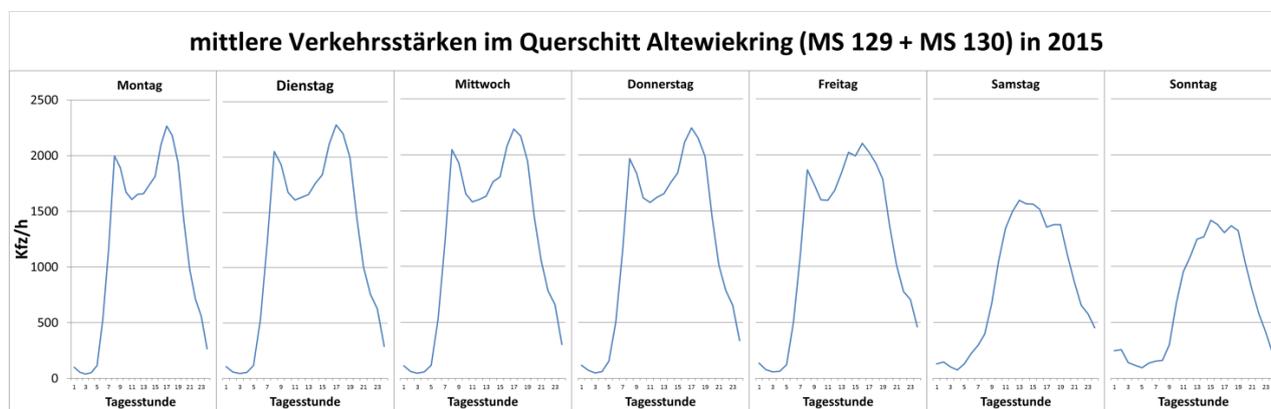
Tabelle 3-5: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ (6 – 22 Uhr, 1 Stunde verzögert)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	2662	34.5%	-1.4	-3.6%
50	1703	22.0%	-1.0	-2.7%
60	1038	13.4%	-0.7	-1.9%
70	628	8.1%	-0.5	-1.3%
80	381	4.9%	-0.3	-0.9%
90	223	2.9%	-0.2	-0.6%
100	122	1.6%	-0.1	-0.3%

3.1.2 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation der Verkehrsstärke-Schwellenwerte

Im Folgenden werden die potentiellen Wirkungen einer Aktivierung der UVM-Maßnahme am Altewiekring basierend auf den im ViBS^{mt} ermittelten Werten zur Verkehrsstärke (Kfz/h) dargestellt.

Am Straßenquerschnitt Altewiekring auf Höhe des Messcontainers (Streckenabschnitte MS 129 und MS 130) ergibt sich im Verkehrsmonitoring für das Jahr 2015 die in Abbildung 3-1 dargestellte durchschnittliche Wochenganglinie.

**Abbildung 3-1: mittlere Wochenganglinie der Verkehrsstärke am Querschnitt Altewiekring in 2015**

Da der Verkehr montags bis freitags deutlich stärker ist als am Wochenende, wird im Folgenden nur der Verkehr an Normalwerktagen (Montag bis Freitag) betrachtet.

Abbildung 3-2 zeigt für die einzelnen Tagesstunden die im Verkehrsmonitoring ermittelten Minimal-, Mittel- und Maximalwerte der Verkehrsstärke am Querschnitt.

Die höchste mittlere Belastung wird mit 2 237 Kfz/h in der Tagesstunde 17 erreicht. Der größte Maximalwert beträgt 2 760 Kfz/h (Montag, 04.05.2015, 16:00 – 17:00 Uhr). Im Mittel wird montags bis freitags in den Tagesstunden zwischen 7:00 und 19:00 Uhr eine Verkehrsstärke von 1 600 Kfz/h nicht unterschritten.

Unterhalb einer Querschnittsbelastung von 1 600 Kfz/h tritt im Verkehrsmonitoring kein LOS 4 auf, weshalb dieser Wert für eine Aktivierung auf Basis von Verkehrsstärken als kleinster sinnvoller Schwellenwert festgelegt wird.

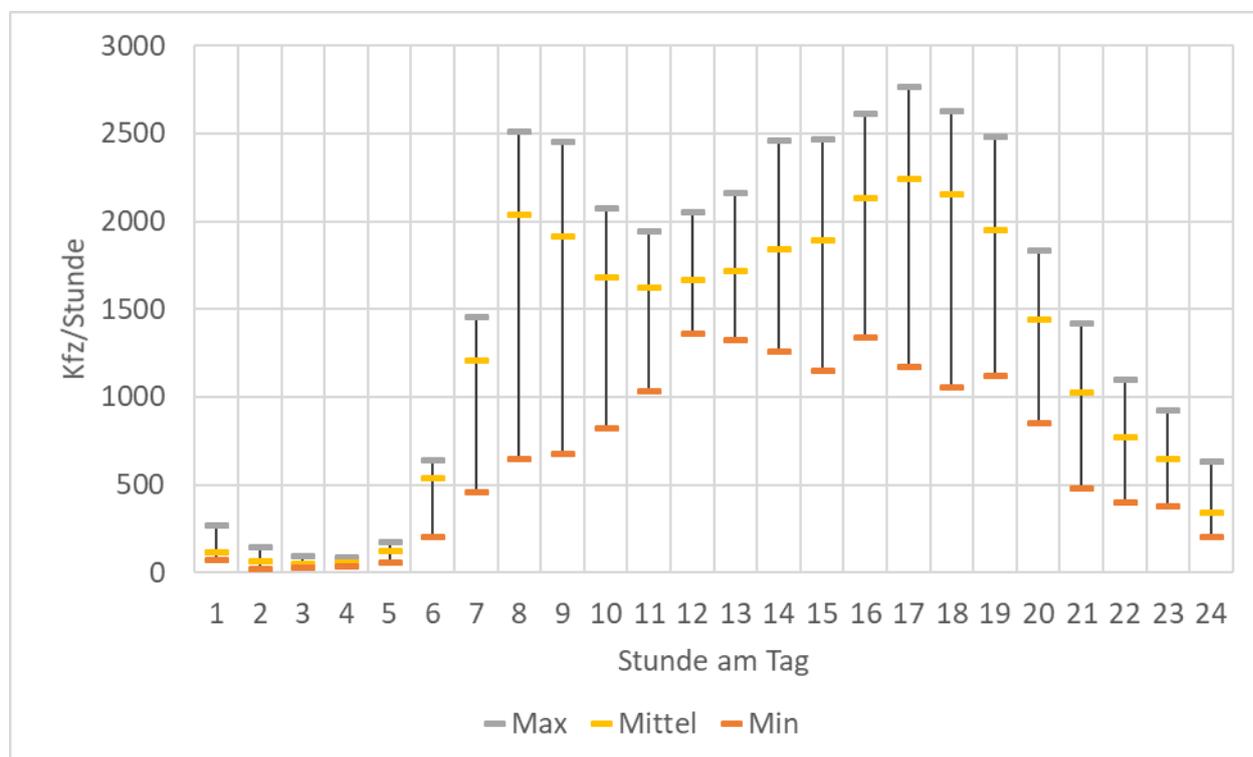


Abbildung 3-2: Minimale, mittlere und maximale Verkehrsstärke je Tagesstunde am Querschnitt Altewiekering in 2015

Damit ergeben sich die in Tabelle 3-6 bis Tabelle 3-9 dargestellten schwellenwertabhängigen Aktivierungsraten und Minderungswirkungen.

Tabelle 3-6: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztäglich, instantan)

Schwellenwert Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
1 600	2566	33.2%	-1.3	-3.3%
1 800	1729	22.4%	-1.0	-2.6%
2 000	1048	13.6%	-0.7	-1.8%
2 200	531	6.9%	-0.4	-1.1%
2 400	133	1.7%	-0.1	-0.3%

Tabelle 3-7: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztäglich, 1 Stunde verzögert)

Schwellenwert Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
1 600	2566	33.2%	-1.2	-3.2%
1 800	1729	22.4%	-0.9	-2.4%
2 000	1048	13.6%	-0.6	-1.7%
2 200	531	6.9%	-0.4	-1.0%
2 400	133	1.7%	-0.1	-0.3%

Tabelle 3-8: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (6 – 22 Uhr, instantan)

Schwellenwert Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
1 600	2427	31.4%	-1.2	-3.1%
1 800	1610	20.8%	-0.9	-2.4%
2 000	959	12.4%	-0.6	-1.7%
2 200	483	6.3%	-0.4	-1.0%
2 400	120	1.6%	-0.1	-0.3%

Tabelle 3-9: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (6 – 22 Uhr, 1 Stunde verzögert)

Schwellenwert Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
1 600	2550	33.0%	-1.2	-3.1%
1 800	1713	22.2%	-0.9	-2.4%
2 000	959	12.4%	-0.6	-1.7%
2 200	527	6.8%	-0.4	-1.0%
2 400	129	1.7%	-0.1	-0.3%

Abbildung 3-3 zeigt für die einzelnen Tagesstunden die im Verkehrsmonitoring ermittelten Minimal-, Mittel- und Maximalwerte der Verkehrsstärke im Schwerverkehr (schwere Lkw, Last- und Sattelzüge und Busse) am Querschnitt.

Die höchste mittlere Belastung wird mit 62 SV-Kfz/h in der Tagesstunde 10 erreicht. Der größte Maximalwert beträgt 78 SV-Kfz/h (Freitag, 08.05.2015, 13:00 – 14:00 Uhr). Im Mittel wird montags bis freitags in den Tagesstunden zwischen 7:00 und 19:00 Uhr eine Verkehrsstärke von 37 SV-Kfz/h nicht unterschritten. Dieser Wert stellt gleichzeitig den Maximalwert für die Tagesstunde 1 dar. Als kleinster sinnvoller Schwellenwert wird daher (auf ganze 5 Fahrzeuge aufgerundet) für den Schwerverkehr 40 SV-Kfz/h gewählt.

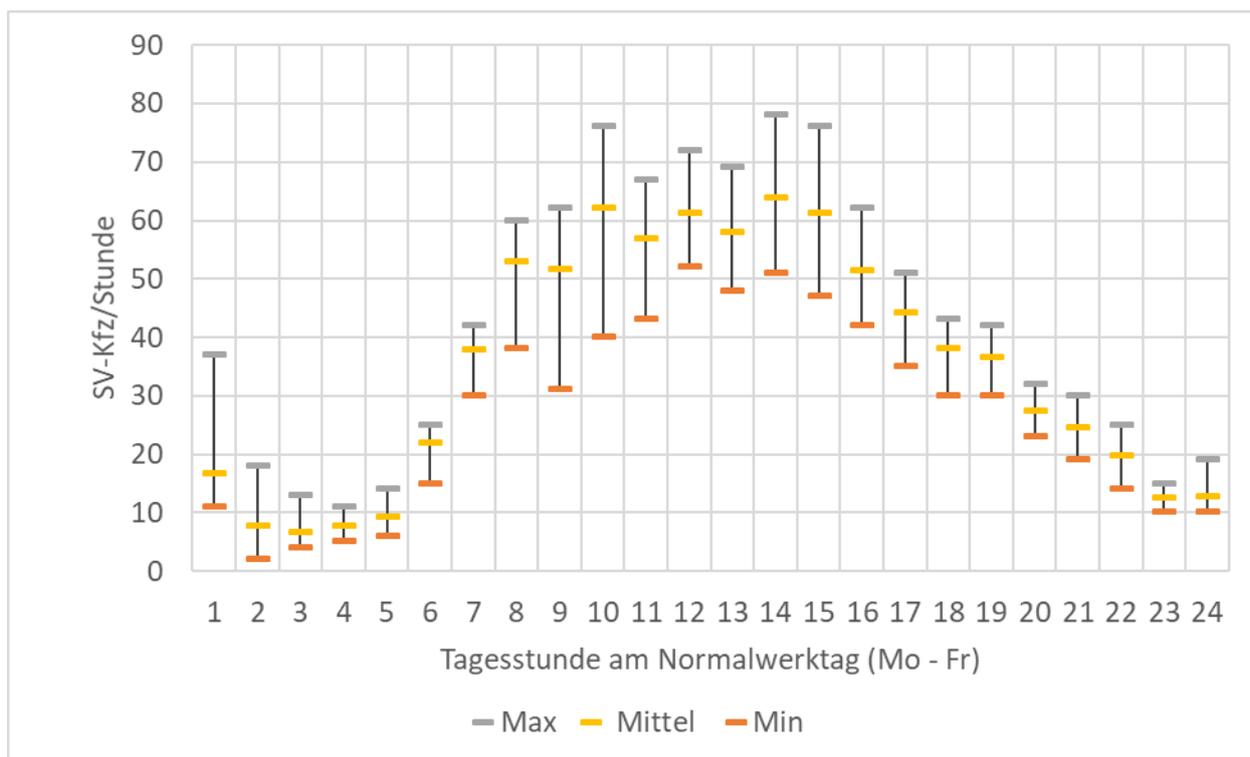


Abbildung 3-3: Minimale, mittlere und maximale Verkehrsstärke im Schwerverkehr je Tagesstunde am Querschnitt Altewiekring in 2015

Damit ergeben sich die in Tabelle 3-10 dargestellten Schwellenwerte und Aktivierungsraten.

Tabelle 3-10: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke im Schwerverkehr (ganztäglich, instantan)

Schwellenwert SV-Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
40	2387	30.9%	-1.1	-2.8%
45	2166	28.0%	-0.9	-2.4%
50	1808	23.4%	-0.7	-1.9%
55	1239	16.0%	-0.5	-1.3%
60	708	9.2%	-0.3	-0.7%

3.1.3 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation des Verkehrszustandes

Abbildung 3-4 zeigt die im Verkehrsmonitoring für das Jahr 2015 berechneten mittleren Anteile der Verkehrszustände LOS 3 und LOS 4 je Tagesstunde für den Normalwerktag (Mo – Fr) am Querschnitt Altewiekring.

Im Mittel tritt LOS 3 in den Tagesstunden 1 bis 7 und ab Tagesstunde 21 nicht auf. LOS 4 tritt im Wesentlichen in den Tagesstunden 8 und 9 sowie 14 bis 19 auf.

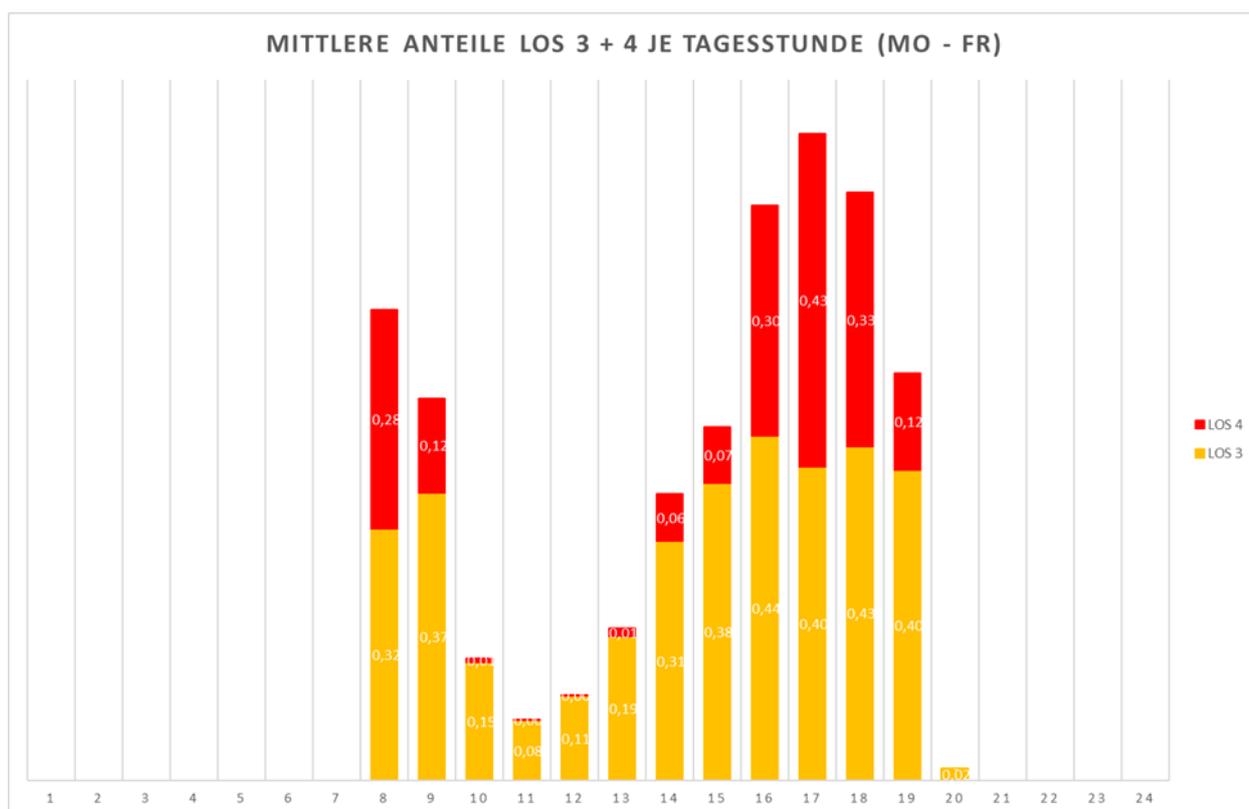


Abbildung 3-4: Mittlere Anteile LOS 3 und 4 je Tagesstunde am Querschnitt Altewiekring in 2015

Bedingt durch das kapazitätsbasierte LOS-Modell im Verkehrsmonitoring ViBS^{mt} hängen die modellierten LOS-Anteile nur von den ermittelten Verkehrsstärken und den im Netzmodell hinterlegten Kapazitäten und Anpassungsfaktoren ab. Abbildung 3-5 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Die leichten Streuungen der Werte ergeben sich hauptsächlich aus (baustellenbedingten) Veränderungen am Netzmodell im Laufe des Jahres 2015 sowie aus dem Umstand, dass die LOS-Anteile zunächst je Fahrtrichtung getrennt ermittelt und anschließend gewichtet zusammengefasst werden. Die rechts im Diagramm erkennbaren Punkte gehören zu den Stunden mit aktivierter UVM-Maßnahme, wodurch sich aufgrund der deutlichen Verbesserungen im Verkehrsfluss auch bei hohen Verkehrsstärken vergleichsweise niedrige Anteile an LOS 3 und 4 ergeben.

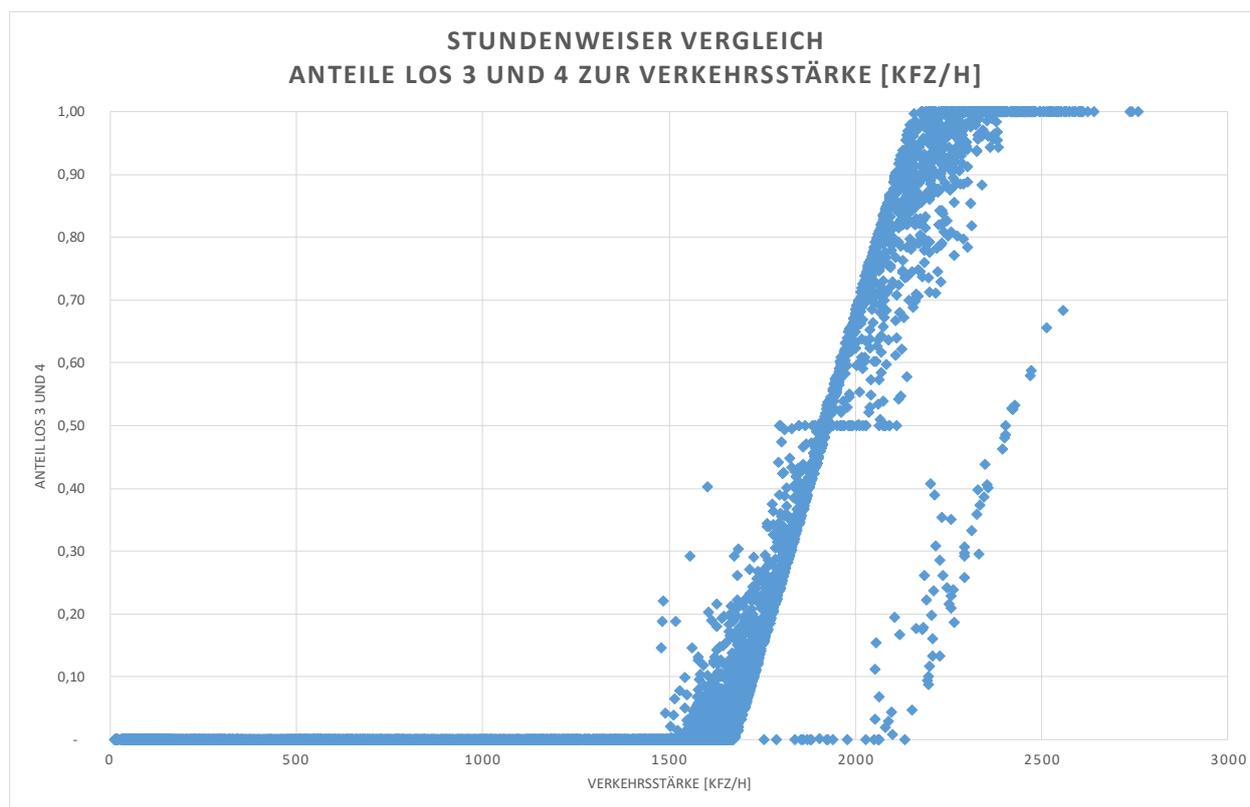


Abbildung 3-5: Stundenweiser Vergleich der Anteile LOS 3 und 4 zur Verkehrsstärke [Kfz/h] aus ViBS^{mt} 2015

Aufgrund des direkten Zusammenhangs zwischen Verkehrsstärke und LOS-Anteilen in ViBS^{mt} wird auf eine Untersuchung von LOS-basierten Schwellenwerten verzichtet, da gegenüber den in Kapitel 3.1.2 durchgeführten Betrachtungen zu verkehrsstärkebasierten Schwellenwerten keine neuen Erkenntnisse zu erwarten sind.

3.2 Erfurt

Die Betrachtungen für das UVM Erfurt wurden für das Bezugsjahr 2015 (aufgrund umfangreicher Voruntersuchungen für den Zeitraum 01.11.2014-31.10.2015) durchgeführt. Die vorhandene Datenbasis aus dem Verkehrs- und Umweltmonitoring ist für diesen Zeitraum nahezu vollständig, es sind kaum Datenlücken vorhanden (Datenvollständigkeit 99,8%).

3.2.1 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten im Basisfall

Das maßgebende Auslösekriterium für die umweltorientierte Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation ist der NO₂ Stundenmittelwert. Abbildung 3-6 zeigt für die zumeist maßgebliche Umweltmessstelle für Aktivierung der UVM-Maßnahmen in der Bergstraße Erfurt die Häufigkeitsverteilung der Konzentrationsklassen auf Basis der Stundenmittelwerte im Bezugsjahr für Stickstoffdioxid (und ergänzend für Feinstaub).

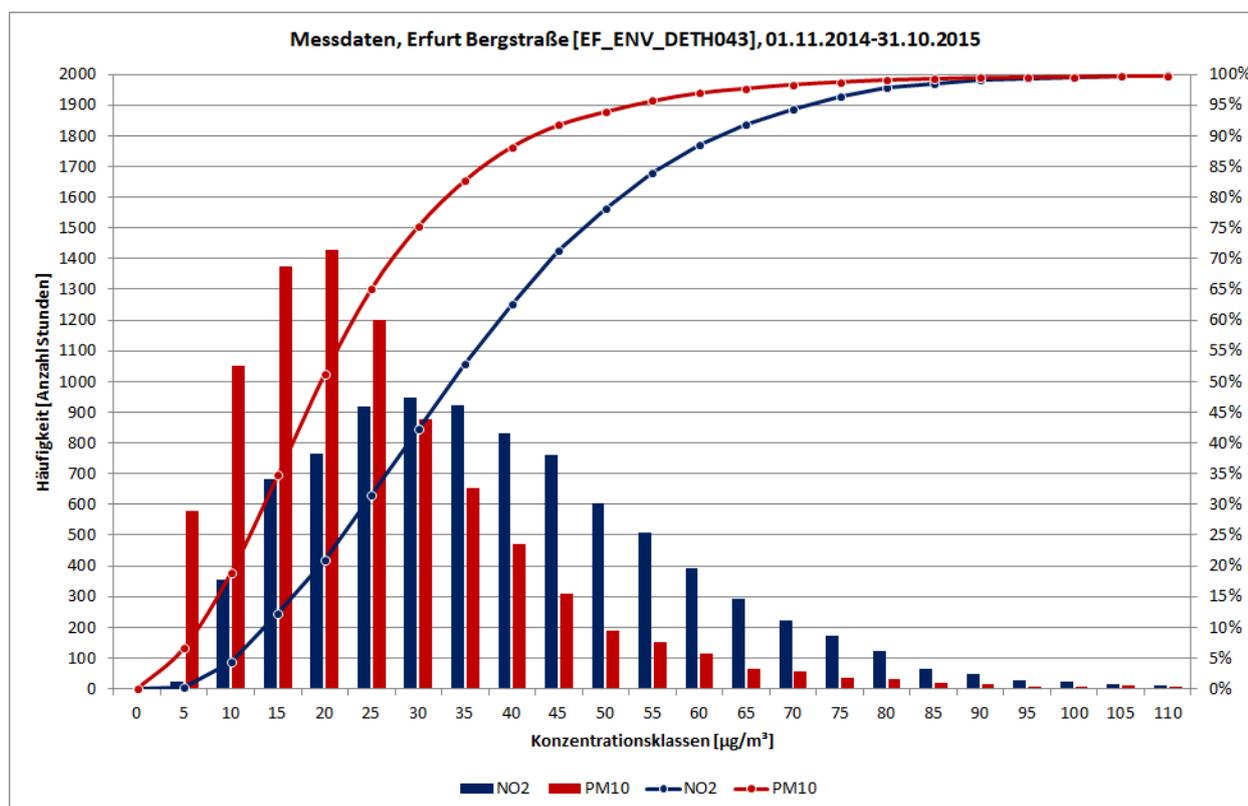


Abbildung 3-6: UVM-EF – Häufigkeit der Konzentrationsklassen

Um häufige Wechsel zur Aktivierung bzw. Deaktivierung der Maßnahmen zu vermeiden, wurden für die Maßnahmen zur Verkehrssteuerung an LSA und zur Verkehrsinformation an Infotafeln untere und obere Schwellenwerte definiert (vgl. Anlage 1, Kapitel 2.3.4). Im Basisfall wird die Zuflussdosierung als Maßnahme der Verkehrssteuerung aktiviert, wenn der Stundenmittelwert 60 µg/m³ übersteigt, sie wird wieder deaktiviert, wenn der Stundenmittelwert 50 µg/m³ unterschreitet.

Abbildung 3-7 zeigt die monatsweise ausgewerteten Aktivierungsanzahlen (erhöhte Umweltbelastung gemäß obiger Schwellenwerte). Für das Bezugsjahr ergibt sich eine

mittlere Aktivierungsrate von 15,4% sowie eine NO₂-Minderung von -1,5 µg/m³ und eine NO₂-Minderungsrate von -3,9%.

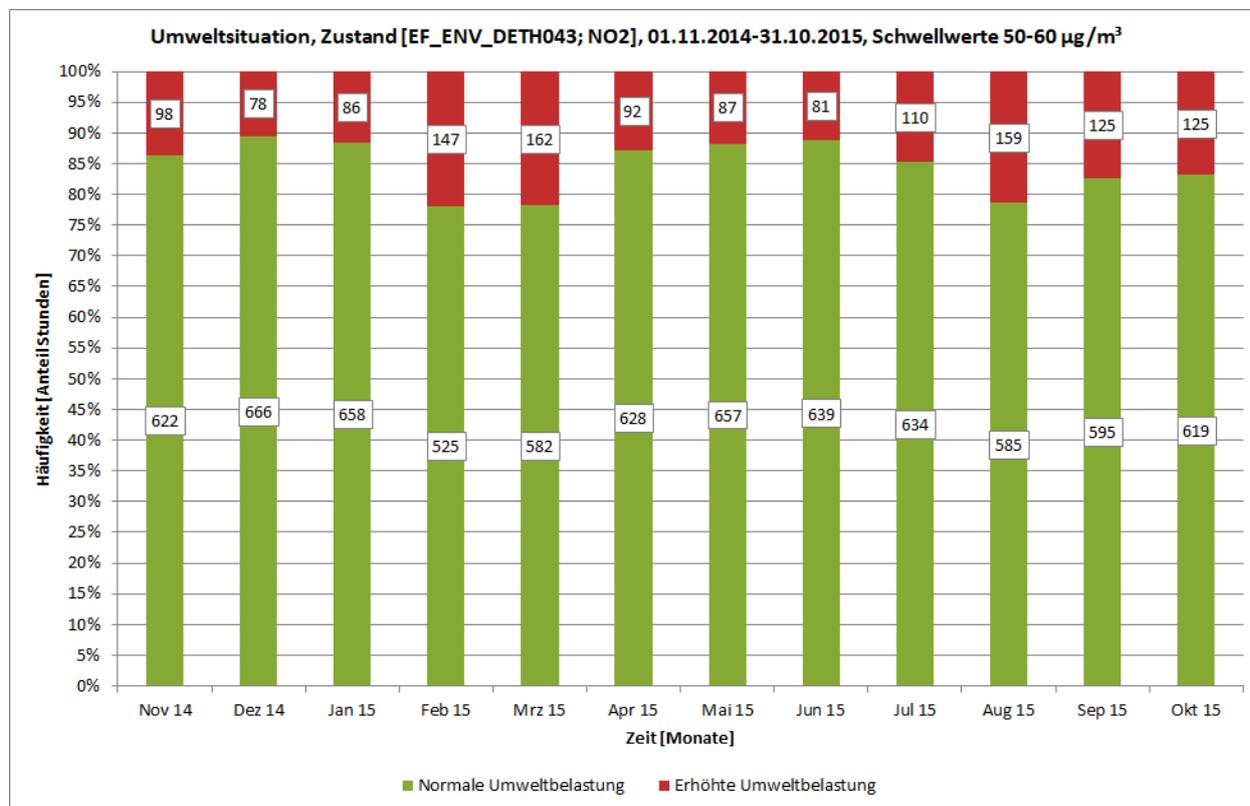


Abbildung 3-7: UVM-EF – Aktivierungsanzahl im Basisfall

3.2.2 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation der NO₂-Schwellenwerte

Abbildung 3-8 zeigt die ermittelten Aktivierungszahlen und -anteile der umweltorientierten Verkehrssteuerung sowie die daraus resultierenden absoluten und relativen Minderungen der NO₂-Immissionen bei Variation der NO₂-Schwellenwerte.

Variation NO ₂				
Schwellwert	Aktivierung		Minderung	
NO ₂ [µg/m ³]	Anzahl [h/Jahr]	Anteil	Absolut [µg/m ³]	Relativ
Basisfall	1349	15,4%	-1,5	-3,9%
40	3343	38,2%	-3,6	-9,5%
50	1949	22,2%	-2,1	-5,6%
60	1029	11,7%	-1,1	-2,9%
70	501	5,7%	-0,5	-1,4%
80	196	2,2%	-0,2	-0,6%

Abbildung 3-8: UVM-EF – Variation Stickstoffdioxid

3.2.3 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation der Verkehrsstärke-Schwellenwerte

Abbildung 3-9 zeigt die mittleren Tagesganglinien der Verkehrsstärke nach Wochentagen für den Messquerschnitt Bergstraße Erfurt.

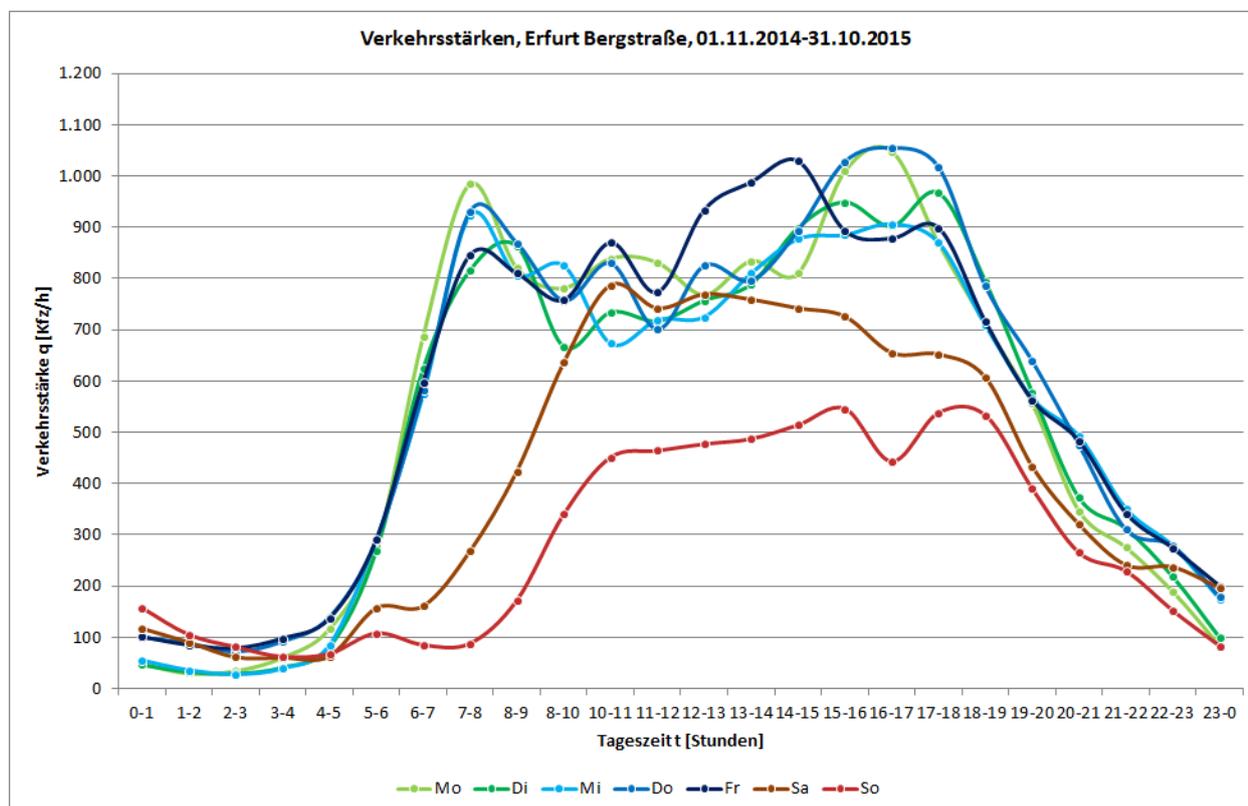


Abbildung 3-9: UVM-EF – Tagesganglinien Verkehrsstärke Bergstraße

Abbildung 3-10 zeigt die ermittelten Aktivierungszahlen und -anteile der umweltorientierten Verkehrssteuerung sowie die daraus resultierenden absoluten und relativen Minderungen der NO₂-Immissionen bei Variation der Verkehrsstärke-Schwellenwerte. Eine Aktivierung erfolgt in der Morgen- und insbesondere der Nachmittagsspitze bzw. bei niedrig eingestelltem Schwellenwert im gesamten Tagesverkehr.

Variation q				
Schwellenwert	Aktivierung		Minderung	
q [Kfz/h]	Anzahl [h/Jahr]	Anteil	Absolut [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Relativ
750	2764	31,6%	-3,0	-7,9%
800	2086	23,8%	-2,3	-6,0%
850	1408	16,1%	-1,5	-4,0%
900	782	8,9%	-0,8	-2,2%
950	469	5,4%	-0,5	-1,3%
1.000	313	3,6%	-0,3	-0,9%

Abbildung 3-10: UVM-EF – Variation Verkehrsstärke

3.2.4 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation des Verkehrszustandes

Abbildung 3-11 zeigt die Zeitanteile des Level of Service für die vier untersuchten Szenarien: Ausgangssituation (S0), Grundkoordinierung (S1), Optimierte Koordinierung (S2) und Optimierte Koordinierung mit Zuflussdosierung (S3).

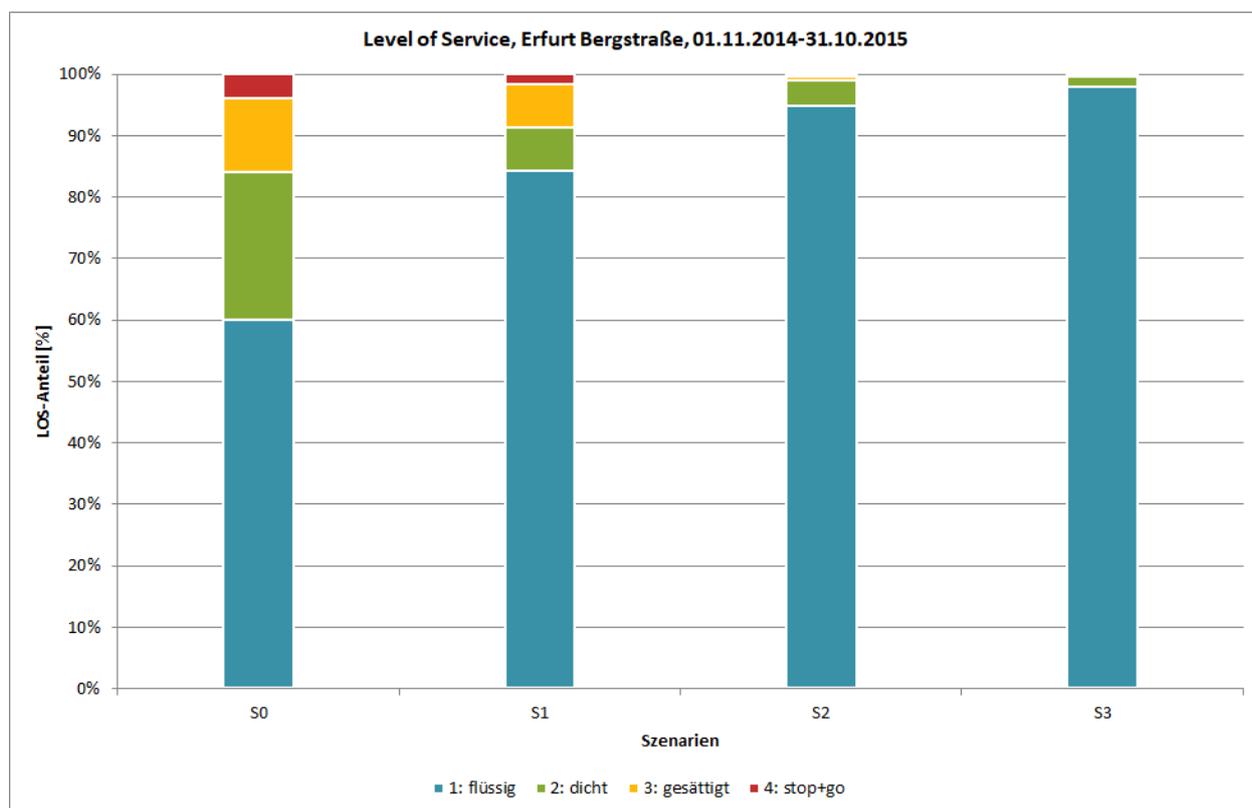


Abbildung 3-11: UVM-EF

Abbildung 3-12 zeigt die ermittelten Aktivierungszahlen und -anteile der umweltorientierten Verkehrssteuerung sowie die daraus resultierenden absoluten und relativen Minderungen der NO₂-Immissionen bei Variation der Verkehrszustands-Schwellenwerte. Eine Aktivierung erfolgt einerseits ähnlich wie bei der Variation der Verkehrsstärke, darüber hinaus aber auch bei Verkehrsereignissen (Baustellen, Veranstaltungen, Verkehrsstörungen).

Variation LOS				
Schwellwert	Aktivierung		Minderung	
LOS 3+4 [%]	Anzahl [h/Jahr]	Anteil	Absolut [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Relativ
1,0%	2641	30,1%	-2,9	-7,5%
4,0%	1981	22,6%	-2,2	-5,7%
7,0%	1486	17,0%	-1,6	-4,2%
10,0%	990	11,3%	-1,1	-2,8%

Abbildung 3-12: UVM-EF – Variation Verkehrszustand

3.2.5 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation von Schwellenwertkombinationen

Abbildung 3-13 zeigt die ermittelten Aktivierungszahlen der umweltorientierten Verkehrssteuerung bei Variation der Stickstoffdioxid- und Verkehrsstärke-Schwellenwerte.

Abgesehen von den wenigen Tagen, an denen die NO₂-Belastung den Schwellenwert aufgrund der wechselnden verkehrlichen Emissionen im Tagesgang ein- oder mehrmals über- bzw. unterschreitet (Wechsel in den Spitzenstunden), sind die beiden variierten Schwellenwerte mehrheitlich voneinander unabhängig. Eine Aktivierung aufgrund der Überschreitung der NO₂-Schwellenwerte tritt daher häufig ganztägig auf. Eine Aktivierung aufgrund der Überschreitung der Verkehrsstärke-Schwellenwerte tritt eher Montag bis Freitag in den Spitzenstunden auf. Aus der reinen Addition der Aktivierungs-Anzahlen durch Überschreitung beider Schwellenwerte fallen daher die Stunden mit hoher Verkehrsstärke bei gleichzeitiger hoher NO₂-Belastung heraus, d. h. sie werden „nicht doppelt gezählt“.

Variation q und NO ₂ (Kombination) - Aktivierung Anzahl [h/Jahr]						
Schwellenwerte	NO ₂ [µg/m ³]	40	50	60	70	80
q [Kfz/h]	Anzahl [h/Jahr]	3343	1949	1029	501	196
750	2764	5052	4098	3468	3107	2898
800	2086	4633	3571	2870	2468	2235
850	1408	4214	3044	2272	1829	1573
900	782	3826	2557	1719	1238	961
950	469	3633	2314	1443	943	655
1.000	313	3536	2192	1305	796	502

Abbildung 3-13: UVM-EF – Variation Stickstoffdioxid und Verkehrsstärke

Die Aktivierungsanteile können durch Division der Aktivierungs-Anzahlen durch die 8760 Jahresstunden ermittelt werden (hier nicht dargestellt). Eine grobe Abschätzung der daraus resultierenden absoluten und relativen Minderungen der NO₂-Immissionen kann bis zu einer Aktivierungs-Anzahl von etwa 3500 Stunden (Anteil ca. 40%) in Anlehnung an die Darstellungen in Abbildung 3-8 und Abbildung 3-10 vorgenommen werden. Eine weitergehende Abschätzung ist aufgrund der Datenlage an dieser Stelle nicht möglich.

3.2.6 Diskussion

Die durch Variation verschiedener Schwellenwerte ermittelten Aktivierungszahlen und die daraus resultierenden Minderungen zeigen, dass die Parametrierung der UVM-Systeme mit Hilfe der untersuchten Schwellenwerte und Schwellenwertkombinationen eine weitreichende Steuerung der erzielbaren Wirkung ermöglicht.

Insbesondere bei Maßnahmen zur Zuflussdosierung sind aufgrund entstehender Rückstauerscheinungen meist eine ganze Reihe von Nebenbedingungen im laufenden Betrieb zu beachten, die zu einer Verringerung des Wirkungspotenzials führen können.

Hierzu zählen z. B. die Vermeidung der Überstauung von Knotenpunkten und die Begrenzung der Rückstaulänge stromaufwärts des Dosierungsquerschnittes, sei es aus Gründen der Verkehrssicherheit oder zur Gewährleistung der Zufahrt zu Verknüpfungspunkten im Verkehrsnetz (P+R-Plätze mit Umstieg auf den ÖPNV als Alternative).

Für das UVM-Erfurt wurde die Parametrierung wie folgt vorgenommen:

Für den Bereich Talstraße / Bergstraße (erste UVM-Pilotmaßnahme), vgl. Anlage 1 (Kapitel 2.3.2.1), die den Untersuchungen in den obigen Kapiteln zugrunde liegt, erfolgt die Steuerung ausschließlich nach den NO₂-Schwellenwerten. Nach dem Pilotbetrieb, in dem verschiedene Szenarien untersucht wurden (vgl. Kapitel 2.2), kommt im Regelbetrieb das Szenario S3 Optimierte Koordinierung mit Zuflussdosierung zum Einsatz. Aufgrund der Lage des Straßenzuges als Teil des Stadtringes ist hier nur eine moderate Zuflussdosierung mit Rückstauüberwachung möglich, ein Verkehrsstärke-Schwellenwert zu Steuerung scheidet aus.

Für den Bereich Leipziger Straße (zweite UVM-Pilotmaßnahme), vgl. Anlage 1 (Kapitel 2.3.2.2), über die als radiale Hauptverkehrsachse auch ein Teil des Verkehrs weiter in den Bereich Talstraße / Bergstraße einfließt, erfolgt die Steuerung kombiniert nach den NO₂-Schwellenwerten als auch nach LOS-Schwellenwerten. Seit Fertigstellung des Verkehrslagesystems PTV OPTIMA als Teilsystem der Verkehrsmanagementplattform Erfurt, vgl. hierzu Anlage 2 (Kapitel 5.2.1), wird der für die Steuerung verwendete LOS als Verhältnis der aktuellen Fahrzeit zur Fahrzeit bei freiem Verkehrsfluss ermittelt. Einbezogen wird dazu der gesamte Streckenabschnitt auf der Leipziger Straße stromabwärts des Dosierungsquerschnittes in stadteinwärtiger Fahrtrichtung bis zum Stadtring.

Dieser kombinierte Ansatz hat sich für die auf das Zentrum zuführenden radialen Hauptverkehrsstraßen bewährt. Er gewährleistet eine UVM-Aktivierung (Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation) sowohl bei erhöhter Luftschadstoffbelastung als auch bei erhöhter Verkehrsbelastung mit un stetigem Verkehrsfluss im umweltsensiblen Bereich.

3.3 Potsdam

Die Evaluation für das UVM Potsdam wurde für die Bezugsjahre 2013 und 2014 durchgeführt. Dabei wurde die vorhandene Datenbasis aus dem Verkehr- und Umweltmonitoring soweit wie möglich um Daten aus verschiedenen Datenarchiven ergänzt, so dass nur geringe Datenlücken vorhanden waren.

Die mittleren Aktivierungsdaten der Maßnahmen im UVM Potsdam wurden für die beiden Jahre in Tabelle 2-5 in Kapitel 2.3.2.1 aufgeführt. Auf der Datengrundlage der Archivdaten aus dem Monitoring bzw. der Evaluation können die geplanten Sensitivitätsuntersuchungen durchgeführt werden.

3.3.1 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation der NO₂-Schwellenwerte

Zur Ermittlung der Minderungsrate bei verschiedenen NO₂-Schwellenwerten mussten Wirkungen der UVM-Maßnahme bei einer Aktivierung angenommen werden. Die Wirkung der verkehrlichen Maßnahme durch Veränderungen der LSA-Steuerung auf das Verkehrsgeschehen und damit auf die Kfz-Emissionen bzw. die NO_x-Zusatzbelastung im Straßenraum hängt von der jeweiligen Verkehrsstärke ab, bei der die Maßnahme aktiviert wird. Eine entsprechende Auswertung dieser Minderungswirkung in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke wird im folgenden Abschnitt 3.3.2 beschrieben und in Tabelle 3-11 aufgelistet. Dabei werden für unterschiedliche Rahmenbedingungen verkehrsstärkeabhängige Minderungswirkungen für den Hotspot Behlerstraße angegeben. Für die in diesem Abschnitt durchgeführte NO₂-Schwellenwertanalyse werden in Tabelle 3-11 Potenziale zur Änderung der NO_x-Zusatzbelastung für die Aktivierungsstunden für die Variante Schaltprogramm wie im UVM 2013/14 ohne Alternativrouten und als theoretische Variante mit Alternativrouten genannt.

Tabelle 3-11: Minderungswirkung der UVM-Maßnahme auf die NO_x-Zusatzbelastung in der Behlerstraße in Abhängigkeit der vorherrschenden Verkehrsstärke

Verkehrsstärke	Minderungswirkung der Maßnahme auf die NO _x -Zusatzbelastung	
	Ohne Alternativrouten	Mit Alternativrouten
Kfz/h		
<=1 000	-4.2%	-10.3%
<=1 100	-4.7%	-12.0%
<=1 200	-5.3%	-15.8%
<=1 300	-6.0%	-24.2%
<=1 400	-6.3%	-27.6%
<=1 500	-6.8%	-20.0%
>1500	-6.8%	-20.0%

Tabelle 3-12: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ in der Variante ohne Alternativrouten (ganztäglich, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	6444	38.1%	-0.6	-1.7%
50	4048	23.9%	-0.5	-1.3%
60	2425	14.3%	-0.4	-0.9%
70	1347	8.0%	-0.2	-0.6%
80	695	4.1%	-0.1	-0.4%
90	377	2.2%	-0.1	-0.2%
100	177	1.0%	-0.1	-0.1%

Tabelle 3-13: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ in der Variante mit Alternativrouten (ganztäglich, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	6444	38.1%	-2.1	-5.5%
50	4048	23.9%	-1.6	-4.2%
60	2425	14.3%	-1.2	-3.1%
70	1347	8.0%	-0.8	-2.1%
80	695	4.1%	-0.5	-1.3%
90	377	2.2%	-0.3	-0.8%
100	177	1.0%	-0.2	-0.4%

Tabelle 3-14: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ ohne Alternativrouten (6 – 22 Uhr, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	5450	32.2%	-0.6	-1.5%
50	3452	20.4%	-0.4	-1.1%
60	2052	12.1%	-0.3	-0.8%
70	1125	6.7%	-0.2	-0.5%
80	585	3.5%	-0.1	-0.3%
90	330	2.0%	-0.1	-0.2%
100	158	0.9%	0.0	-0.1%

Tabelle 3-15: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ mit Alternativrouten (6 – 22 Uhr, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	5450	32.2%	-1.8	-4.8%
50	3452	20.4%	-1.4	-3.7%
60	2052	12.1%	-1.0	-2.7%
70	1125	6.7%	-0.7	-1.8%
80	585	3.5%	-0.4	-1.1%
90	330	2.0%	-0.3	-0.7%
100	158	0.9%	-0.2	-0.4%

3.3.2 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation der Verkehrsstärke-Schwellenwerte

Für die Variation der Verkehrsstärke-Schwellenwerte wurden zunächst die werktäglichen Kfz-Verkehrsstärken im Tagesverlauf analysiert (siehe Abbildung 3-14 und Abbildung 3-15). Basierend auf diesen Ganglinien wurden anschließend verschiedene Verkehrsstärke-Schwellenwerte dahingehend untersucht, wie viele Stunden mit aktivierter UVM-Schaltung hieraus jeweils resultieren würden. Die Aktivierungsraten wurden sowohl für den Zeitraum Montag-Freitag als auch für Montag-Sonntag berechnet (siehe Tabelle 3-16 und Tabelle 3-17). Grundlage waren die Kalenderjahre 2013 und 2014.

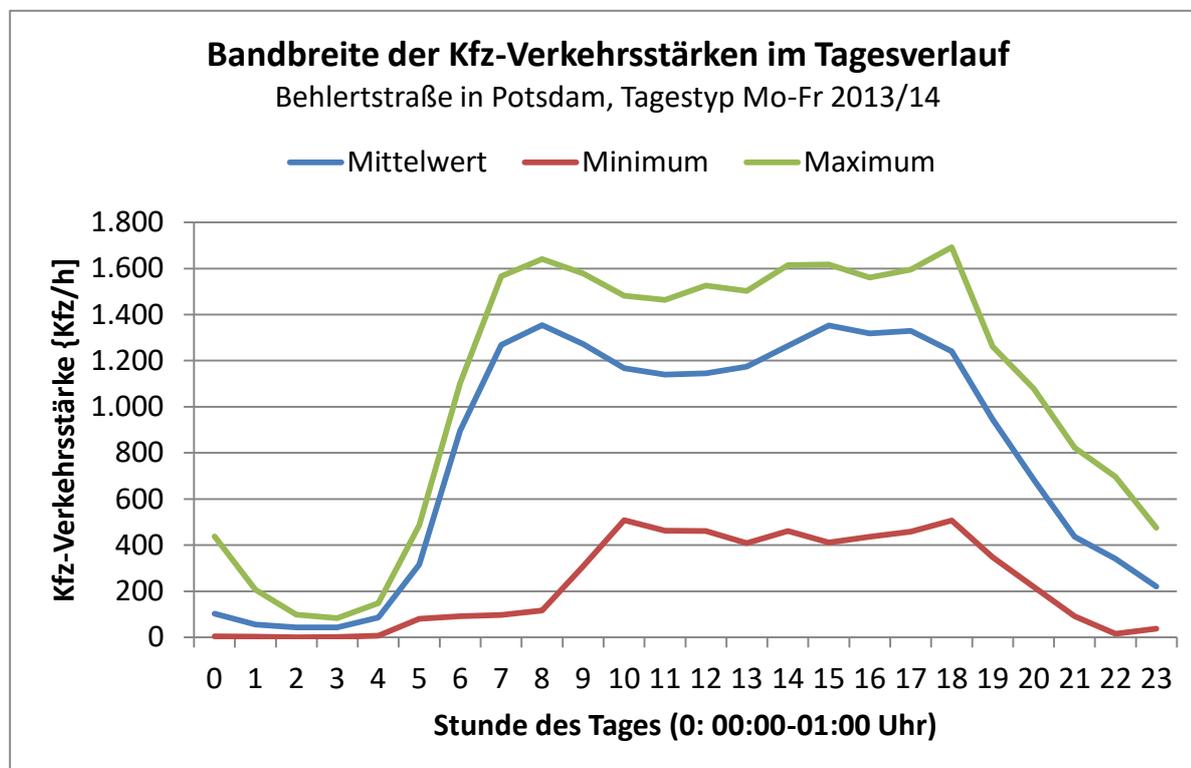
**Abbildung 3-14: Bandbreite der Kfz-Verkehrsstärken im Tagesverlauf (Behlertstraße in Potsdam)**

Tabelle 3-16: Schwellenwerte und Aktivierungsraten für eine Maßnahmenauslösung auf Basis der Verkehrsstärke (Behlerstraße, Potsdam)

Schwellenwert	Aktivierung			
	Anzahl Halb- stunden Mo - Fr	Anzahl Halb- stunden Mo - So	Anteil Mo - Fr	Anteil Mo - So
1.000 Kfz/h	5.589	6.386	47%	36%
1.100 Kfz/h	4.673	5.128	39%	29%
1.200 Kfz/h	3.435	3.627	29%	21%
1.300 Kfz/h	2.150	2.202	18%	13%
1.400 Kfz/h	838	847	7%	5%
1.500 Kfz/h	100	100	1%	1%

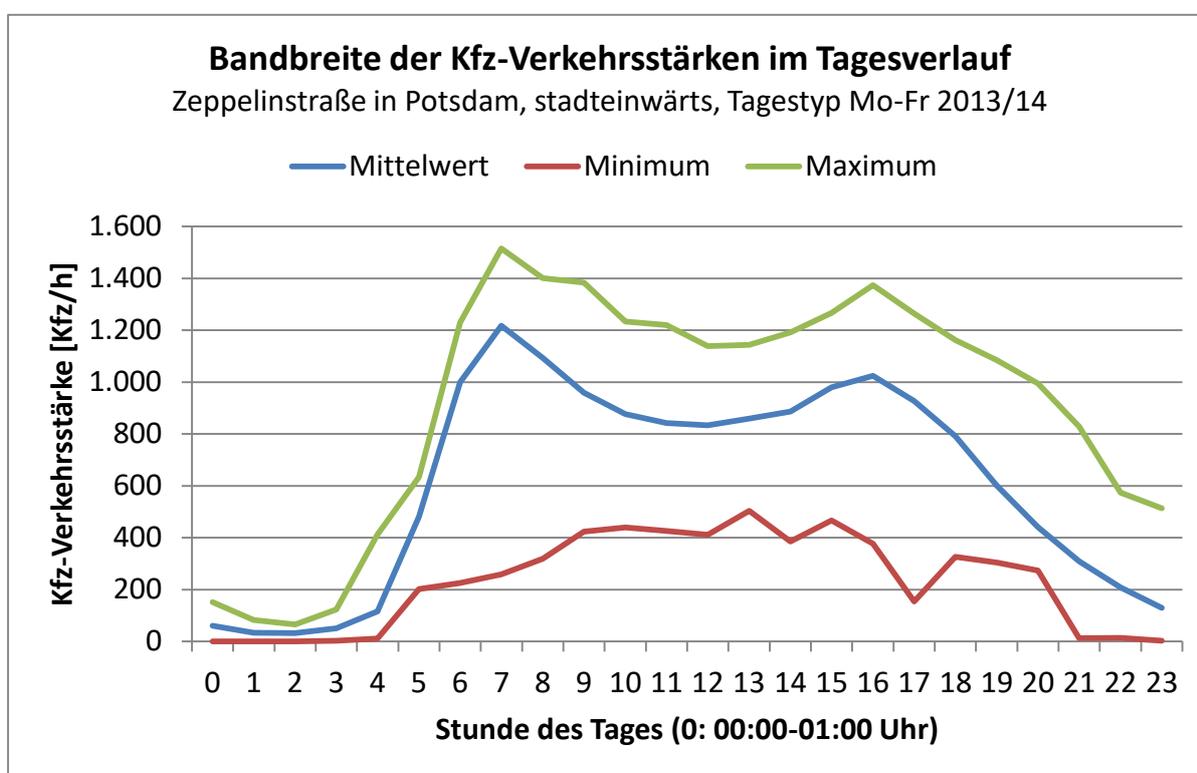


Abbildung 3-15: Bandbreite der Kfz-Verkehrsstärken im Tagesverlauf (Zeppelinstraße stadteinwärts in Potsdam)

Tabelle 3-17: Schwellenwerte, Aktivierungsraten und Minderungspotential für eine Maßnahmenauslösung auf Basis der Verkehrsstärke (Zeppelinstraße, Potsdam)

Schwellenwert	Aktivierung			
	Anzahl Halbstunden Mo - Fr	Anzahl Halbstunden Mo - So	Anteil Mo - Fr	Anteil Mo - So
800 Kfz/h	5.294	6.026	44%	34%
900 Kfz/h	3.460	3.721	29%	21%
1.000 Kfz/h	1.631	1.700	14%	10%
1.100 Kfz/h	768	787	6%	4%
1.200 Kfz/h	395	397	3%	2%
1.300 Kfz/h	106	106	1%	1%

Die verkehrliche Straßeninfrastruktur in der Landeshauptstadt Potsdam wird maßgeblich durch die beiden Brücken (Lange Brücke, Humboldtbrücke) über die Havel geprägt. In den Bereichen der Hotspots stehen kaum Netzalternativen für die Ableitung von Kfz-Verkehren zur Verfügung. Deshalb waren mit der Maßnahme Drosselung Veränderungen im Tagesverlauf jedoch kaum im Tagesgesamtverkehr und damit im DTV erzielbar.

Bei der Variation der Schwellenwerte der Verkehrsstärke ist unter Beachtung der lokalen Rahmenbedingungen in Potsdam deshalb die Nichtverfügbarkeit von Alternativrouten unterstellt worden. Um die Bandbreite der möglichen UVS-Wirkungen aufzuzeigen, wurde dem ein Szenario gegenübergestellt, bei dem Alternativrouten verfügbar sind.

Darüber hinaus wurde auch die Eingriffsschwere in den Verkehrsablauf zusätzlich zum Schwellenwert variiert. Dies ist erforderlich, um die Wirkungen auf den Hotspot selbst aber auch auf den Rückstau vor dem Hotspot abschätzen zu können.

Zunächst wurden die Halbstundenwerte der Jahre 2013 und 2014 unter verschiedenen Randbedingungen simuliert. Im Ergebnis entstanden Zeitreihen mit den Ergebnissen der Kfz-Verkehrsstärke, des Rückstaus und des LOS4 – Anteils unter den Randbedingungen der Verfügbarkeit von Alternativrouten (ja/nein), des Schwellenwertes der Verkehrsstärke für die Auslösung sowie für die Eingriffsschwere (Grünzeit).

Zur Abschätzung des Minderungspotenzials der NO_x-Zusatzbelastung wurden die verfügbaren Quartale in 2013 und 2014 im Hotspot Behlertstraße analysiert. In Abbildung 3-16 ist der empirische Zusammenhang zwischen der Drosselung der Kfz-Verkehrsstärke und der Minderung der NO_x-Zusatzbelastung für die Behlertstraße dargestellt.

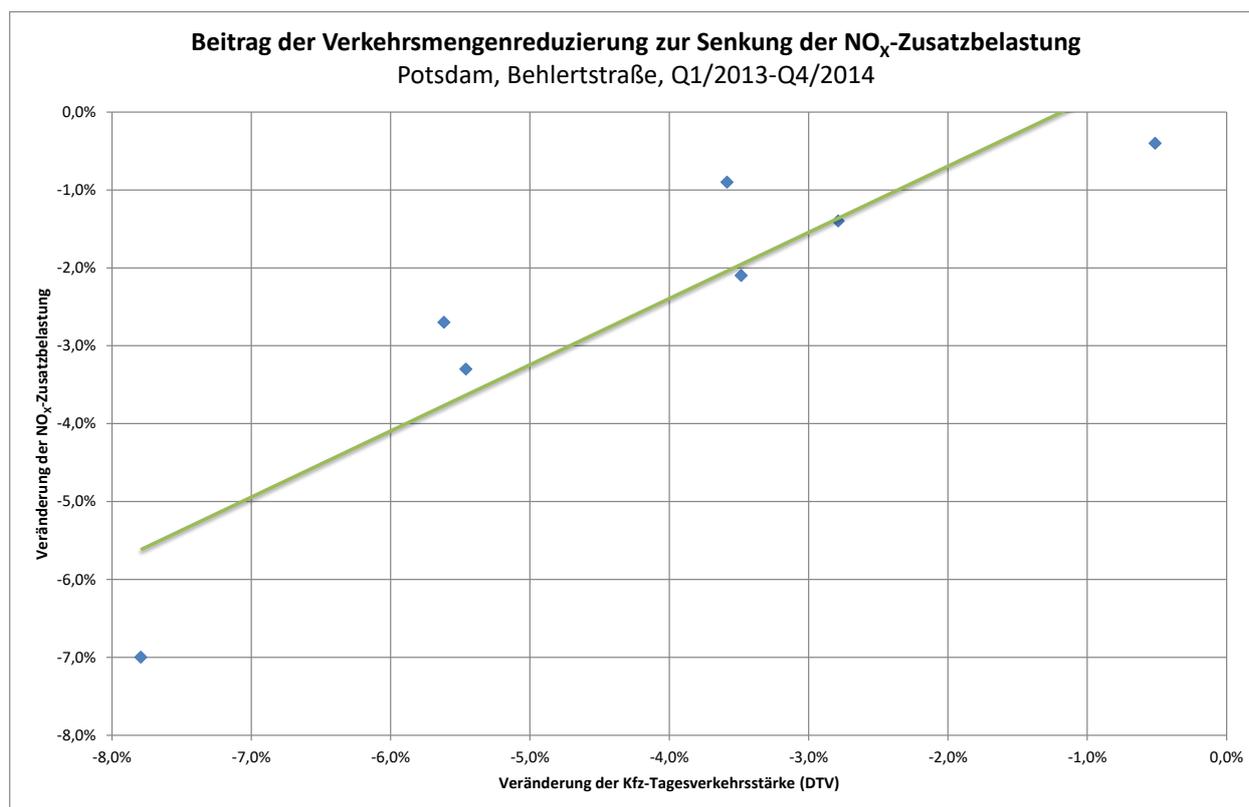


Abbildung 3-16: Empirischer Zusammenhang zwischen der Veränderung der Kfz-Verkehrsstärke und der NO_x-Zusatzbelastung für den Hotspot Behlerstraße

Dieser empirisch gefundene Zusammenhang wird genutzt, um das Potenzial der NO_x-Reduktion für verschiedene Verkehrsstärkedämpfungen abschätzen zu können. Für das Minderungspotenzial des Verstetigungseffekts wurde vergleichbar vorgegangen.

In Tabelle 3-18 sind die Ergebnisse der Potenzialabschätzung bezüglich der NO_x-Zusatzbelastung gegenüber dem Zustand ohne UVM für die Behlerstraße für die Kalenderjahre 2013 und 2014 dargestellt.

Hierbei wurden für drei verschiedene Szenarien Auslöseschwellenwerte von 1.000 bis 1.500 Kfz/h hinsichtlich ihrer verkehrlichen und umweltseitigen Wirkung simuliert:

- Szenario 1: Das Signalprogramm für die Umweltschaltung ist wie 2013/2014 in Potsdam umgesetzt. Damit ergibt sich eine theoretische Drosselung auf 1.070 Kfz/h zuzüglich Einbieger (Annahme: ca. 15%). Es bestehen keine Alternativrouten, so dass aus dem mit der Drosselung zurückgehaltenen Verkehr ein Rückstau entsteht, der in den Folgezeitintervallen abgebaut wird.
- Szenario 2: Wie Szenario 1, jedoch existieren nun Alternativrouten, sodass der mit der Drosselung zurückgehaltenen Verkehr nicht mehr durch den Hotspot fließt, sondern über andere Routen.
- Szenario 3: Wie Szenario 1, jedoch ist die Eingriffsschwere stärker, d. h. die Grünzeit in Richtung Hotspot ist geringer. Es wird eine Drosselung auf 950 Kfz/h zuzüglich Einbieger (Annahme wiederum ca. 15%) angenommen.

Die Spalten zeigen:

- den Auslöseschwellenwert und die angenommene Drosselung (Eingriffsschwere),
- als verkehrliche Wirkung die sich hieraus im Jahresmittel ergebende Tagesverkehrsstärke (DTV), den Jahresmittelwert der Kfz-Verkehrsstärke im LOS 4 (absolut und als Anteil am DTV), die Aktivierungsrate einschließlich Rückstauberücksichtigung, die relative Veränderung der Kfz-Verkehrsstärke im LOS4 (Verstetigung) und die relative Änderung der Kfz-Tagesverkehrsstärke (Drosselung) sowie
- als Umweltwirkung das Minderungspotenzial für die NO_x-Zusatzbelastung als Summe der Beiträge von Verstetigung und Drosselung gegenüber dem Fall ohne UVM-Schaltung (Abbildung 3-16 zeigt exemplarisch den Wirkungsanteil der Drosselung) sowohl als Jahresmittelwert als auch als Mittelwert der Aktivierungsstunden.

Auslöseschwelle	Drosselung auf	Mittlere tägliche Kfz-Verkehrsstärke	Mittlere tägliche Kfz-Verkehrsstärke im LOS 4	Mittlerer Anteil des LOS 4 an der Kfz-Verkehrsstärke	Aktivierungsrate	Verstetigung (Änderung der Kfz-Verkehrsstärke im LOS 4)	Drosselung (Änderung der Kfz-Verkehrsstärke insgesamt)	Potenzial zur Änderung der NO _x -Zusatzbelastung (Jahresmittelwert)	Potenzial zur Änderung der NO _x -Zusatzbelastung (Aktivierungsstunden)
[Kfz/h]	[Kfz/h]	[Kfz/24 h]	[Kfz/24 h]		Mo-So	ggü. ohne UVM	ggü. ohne UVM	Verstetigung + Drosselung	Verstetigung + Drosselung
<i>Programm wie 2013/14, keine Alternativrouten</i>									
1.000	1.070	17.308	260	1,5%	44,8%	-75,0%	0,1%	-1,9%	-4,2%
1.100	1.070	17.308	260	1,5%	40,2%	-75,0%	0,1%	-1,9%	-4,7%
1.200	1.070	17.308	260	1,5%	35,7%	-75,0%	0,1%	-1,9%	-5,3%
1.300	1.070	17.308	273	1,6%	31,8%	-73,7%	0,1%	-1,9%	-6,0%
1.400	1.070	17.308	362	2,1%	25,3%	-65,1%	0,1%	-1,6%	-6,3%
1.500	1.070	17.308	669	3,9%	7,3%	-35,6%	0,1%	-0,5%	-6,8%
<i>Programm wie 2013/14, jedoch mit Alternativrouten</i>									
1.000	1.070	16.668	184	1,1%	40,8%	-81,6%	-3,6%	-4,2%	-10,3%
1.100	1.070	16.668	184	1,1%	35,1%	-81,6%	-3,6%	-4,2%	-12,0%
1.200	1.070	16.668	184	1,1%	26,5%	-81,6%	-3,6%	-4,2%	-15,8%
1.300	1.070	16.734	250	1,5%	15,3%	-75,1%	-3,2%	-3,7%	-24,2%
1.400	1.070	17.002	518	3,0%	5,8%	-49,2%	-1,7%	-1,6%	-27,6%
1.500	1.070	17.273	789	4,6%	0,5%	-23,9%	-0,1%	-0,1%	-20,0%
<i>stärkere Drosselung, keine Alternativrouten</i>									
1.000	950	17.308	0	0,0%	52,7%	-100,0%	0,1%	-2,8%	-5,3%
1.100	950	17.308	0	0,0%	49,7%	-100,0%	0,1%	-2,8%	-5,6%
1.200	950	17.308	0	0,0%	46,1%	-100,0%	0,1%	-2,8%	-6,1%
1.300	950	17.308	21	0,1%	41,9%	-98,0%	0,1%	-2,8%	-6,7%
1.400	950	17.308	140	0,8%	34,0%	-86,5%	0,1%	-2,2%	-6,5%
1.500	950	17.308	580	3,4%	10,1%	-44,1%	0,1%	-0,8%	-7,9%

Tabelle 3-18: NO_x-Wirkung verschiedener Auslöseschwellenwerte, Eingriffsschweren und Alternativroutenverfügbarkeiten für den Hotspot Behlertstraße im Kalenderjahr 2013

Zu erkennen ist, dass bei fehlenden Alternativrouten durch den Rückstauereffekt die Aktivierungsrate erhöht wird. Dies ergibt sich aus der Veränderung der Tagesganglinie wie in Abbildung 3-17 exemplarisch für den 10.01.2013 dargestellt.

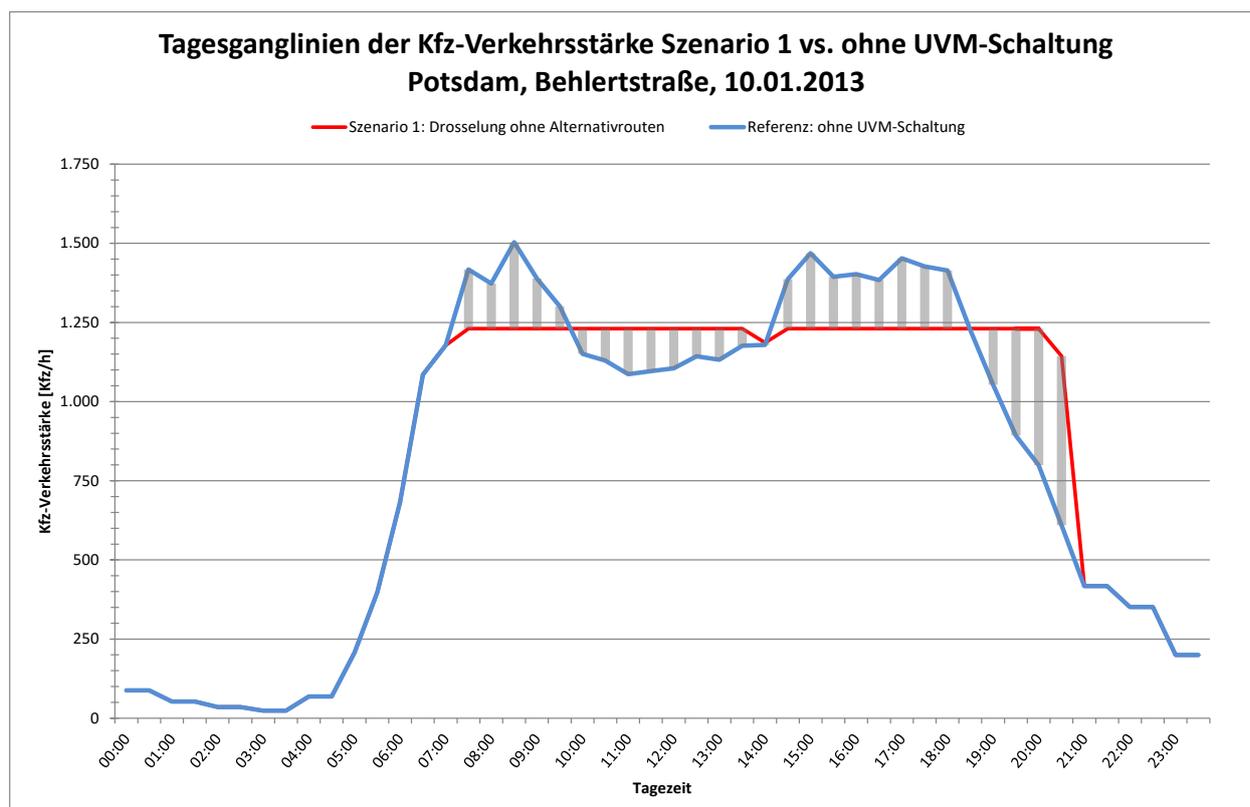


Abbildung 3-17: Veränderung der Tagesganglinie infolge des Rückstaus bei Drosselung

Die Szenarien 1 und 2 stellen die beiden Extremfälle dar, zwischen denen sich ein realer Zustand einstellen wird. Deutlich wird jedoch, dass der Rückstauereffekt die Tagesganglinie beeinflusst ohne die Tagesverkehrsstärke zu reduzieren.

In den Ergebnissen wird deutlich, dass die Alternativroutenverfügbarkeit eine entscheidende Bedeutung für die Höhe des NO_x -Minderungspotenzials besitzt. Sie wirkt sich sowohl auf die Veränderung der Tagesverkehrsstärke, als auch auf die Verstetigung aus und hat damit das größte Minderungspotenzial für die NO_x -Zusatzbelastung.

Es zeigt sich auch, dass eine zu starke Drosselung aufgrund der damit verbundenen Rückstauereffekte zu einer Verlängerung der Spitzenzeiten führen kann, die sich wiederum negativ auf den Verkehrszustand auswirken kann.

Die Variationen der Schwellenwerte zeigen, dass ein kleinerer Schwellenwert zu einer höheren Aktivierungsrate, zu stärkeren verkehrlichen Wirkungen und auch zu höheren Minderungspotenzialen für die NO_x -Zusatzbelastung im Jahresmittel führt. Der Effekt ist jedoch nicht linear, das heißt, dass nicht alle Aktivierungsstunden den gleichen Beitrag zum Jahresmittelwert leisten. Der Tagesgang ist hierbei relevant.

Tabelle 3-19: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztägig, instantan, keine Alternativroute)

Schwellenwert	Aktivierung		Minderung		
	Kfz/h	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
1 000		6247	36.9%	-0.6	-1.6%
1 100		5041	29.8%	-0.5	-1.4%
1 200		3568	21.1%	-0.4	-1.1%
1 300		2262	13.4%	-0.3	-0.8%
1 400		1127	6.7%	-0.2	-0.4%
1 500		265	1.6%	0.0	-0.1%

Tabelle 3-20: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsstärke (ganztägig, instantan, mit Alternativroute)

Schwellenwert	Aktivierung		Minderung		
	Kfz/h	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
1 000		6247	36.9%	-2.0	-5.4%
1 100		5041	29.8%	-1.9	-4.9%
1 200		3568	21.1%	-1.5	-4.0%
1 300		2262	13.4%	-1.0	-2.7%
1 400		1127	6.7%	-0.5	-1.2%
1 500		265	1.6%	-0.1	-0.3%

3.3.3 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation des Verkehrszustandes

Wie in Kap. 3.3.2 dargestellt, ist der Verkehrszustand prinzipiell eine abgeleitete Größe der Verkehrsstärke und der LSA-Steuerung. Die Veränderungen aufgrund der Verkehrsstärke können der Tabelle 3-18 entnommen werden. Für die Variation des Verkehrszustands ohne Änderungen an der Verkehrsstärke wurden folgende Szenarien für das Kalenderjahre 2014 untersucht:

Tabelle 3-21: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für die Verkehrsqualität (ganztägig, instantan, mit Alternativroute)

Schwellenwert	Aktivierung		Minderung		
	LOS3 + LOS4 (%)	Anzahl (HS/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
0		1563	9.2%	-0.2	-0.5%
20		941	5.6%	-0.1	-0.3%
40		506	3.0%	-0.1	-0.2%
60		118	0.7%	0.0	0.0%
80		37	0.2%	0.0	0.0%

3.3.4 Aktivierungs- und NO₂-Minderungsraten bei Variation von Schwellenwertkombinationen

Auf Basis der archivierten Monitordaten für Potsdam wurde ausgewertet, wie sich die Aktivierung der UVM-Maßnahme bei einer Auslösung unter Berücksichtigung eines Schwellenwerts für die halbstündliche Verkehrsstärke oder eines Schwellenwerts für die NO₂-Belastung im Hotspot. In den folgenden Tabelle 3-22 und

Tabelle 3-23 sind die noch einmal die Aktivierungsdaten und Minderungswirkungen für alleinige Schwellenwerte für die Verkehrsstärke und für die NO₂-Belastung für die Behlertstraße in Potsdam aufgeführt und zusätzlich die entsprechenden Daten für verschiedene Schwellenwertkombinationen. Dabei wurde in Tabelle 3-22 die Minderungswirkung der UVM-Maßnahme ohne Alternativrouten und in

Tabelle 3-23 mit Alternativrouten nach Tabelle 3-11 angenommen.

Wie zu erwarten, führt die Kombination von zwei unterschiedlichen Auslöseschwellen zu höheren Aktivierungsraten als bei einer Auslösung mit einer vergleichbaren Einzelschwelle. So werden beispielsweise bei einer NO₂-Schwelle von 60 µg/m³ allein in 2 425 Halbstunden die Maßnahme aktiviert und bei einer zusätzlichen Aktivierung bei einer Schwelle der Verkehrsstärke von 1 500 Kfz/h steigt die Aktivierung auf 2 575 Halbstunden. Die Wirksamkeit durch die erhöhte Aktivierungsrate erhöht sich dabei aber nur um 0.01 µg/m³ im Fall ohne Alternativrouten bzw. um 0.04 µg/m³ im Fall mit Alternativrouten.

Wie schon aus dem direkten Vergleich der Analyse der getrennten Auslösemechanismen deutlich wird, ist eine Auslösung auf Basis des NO₂-Belastungswert bei vergleichbarer Aktivierungsrate in Bezug auf die Minderungswirkung effizienter als eine Auslösung auf Basis eines Schwellenwerts für die Verkehrsstärke. Bei einer Kombination der beiden Schwellenwerte erhöht sich durch die Berücksichtigung der Verkehrsstärke die Aktivierungsrate z.T. deutlich ohne das eine entsprechende deutliche Erhöhung der Minderung erreicht wird.

Tabelle 3-22: Vergleich der Minderungswirkung bei Kombinationen von Auslöschwellen für die Verkehrsstärke und einer NO₂-Gesamtbelastung in der Variante ohne Alternativrouten

Schwellenwert in Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6247	36.9%	-0.59	-1.6%
1 100	5041	29.8%	-0.52	-1.4%
1 200	3568	21.1%	-0.41	-1.1%
1 300	2262	13.4%	-0.30	-0.8%
1 400	1127	6.7%	-0.15	-0.4%
1 500	265	1.6%	-0.03	-0.1%
Schwellenwert NO ₂ in µg/m ³	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	6444	38.1%	-0.64	-1.7%
50	4048	23.9%	-0.49	-1.3%
60	2425	14.3%	-0.35	-0.9%
70	1347	8.0%	-0.23	-0.6%
80	695	4.1%	-0.14	-0.4%
90	377	2.2%	-0.08	-0.2%
100	177	1.0%	-0.05	-0.1%
Kombinationen				
Schwellenwert NO ₂	50			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	7533	44.6%	-0.69	-1.8%
1 100	6704	39.6%	-0.65	-1.7%
1 200	5747	34.0%	-0.60	-1.6%
1 300	5007	29.6%	-0.55	-1.5%
1 400	4477	26.5%	-0.52	-1.4%
1 500	4155	24.6%	-0.50	-1.3%
Schwellenwert NO ₂	60			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6908	40.9%	-0.65	-1.7%
1 100	5899	34.9%	-0.60	-1.6%
1 200	4721	27.9%	-0.52	-1.4%
1 300	3762	22.2%	-0.46	-1.2%
1 400	3038	18.0%	-0.40	-1.1%
1 500	2575	15.2%	-0.36	-1.0%
Schwellenwert NO ₂	70			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6527	38.6%	-0.62	-1.6%
1 100	5405	32.0%	-0.56	-1.5%
1 200	4087	24.2%	-0.47	-1.2%
1 300	3012	17.8%	-0.39	-1.0%
1 400	2135	12.6%	-0.31	-0.8%
1 500	1539	9.1%	-0.25	-0.7%
Schwellenwert NO ₂	80			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6353	37.6%	-0.60	-1.6%
1 100	5187	30.7%	-0.53	-1.4%
1 200	3785	22.4%	-0.44	-1.2%
1 300	2599	15.4%	-0.34	-0.9%
1 400	1612	9.5%	-0.24	-0.6%
1 500	918	5.4%	-0.16	-0.4%

Tabelle 3-23: Vergleich der Minderungswirkung bei Kombinationen von Auslöseschwellen für die Verkehrsstärke und einer NO₂-Gesamtbelastung in der Variante mit Alternativrouten

Schwellenwert in Kfz/h	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6247	36.9%	-2.03	-5.4%
1 100	5041	29.8%	-1.85	-4.9%
1 200	3568	21.1%	-1.52	-4.0%
1 300	2262	13.4%	-1.00	-2.7%
1 400	1127	6.7%	-0.45	-1.2%
1 500	265	1.6%	-0.10	-0.3%
Schwellenwert in µg/m ³	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	6444	38.1%	-2.06	-5.5%
50	4048	23.9%	-1.60	-4.2%
60	2425	14.3%	-1.15	-3.1%
70	1347	8.0%	-0.80	-2.1%
80	695	4.1%	-0.50	-1.3%
90	377	2.2%	-0.30	-0.8%
100	177	1.0%	-0.16	-0.4%
Kombinationen				
Schwellenwert NO ₂	50			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	7533	44.6%	-2.27	-6.0%
1 100	6704	39.6%	-2.17	-5.8%
1 200	5747	34.0%	-2.02	-5.4%
1 300	5007	29.6%	-1.84	-4.9%
1 400	4477	26.5%	-1.69	-4.5%
1 500	4155	24.6%	-1.62	-4.3%
Schwellenwert NO ₂	60			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6908	40.9%	-2.17	-5.8%
1 100	5899	34.9%	-2.04	-5.4%
1 200	4721	27.9%	-1.83	-4.9%
1 300	3762	22.2%	-1.56	-4.1%
1 400	3038	18.0%	-1.31	-3.5%
1 500	2575	15.2%	-1.19	-3.2%
Schwellenwert NO ₂	70			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6527	38.6%	-2.10	-5.6%
1 100	5405	32.0%	-1.94	-5.1%
1 200	4087	24.2%	-1.68	-4.5%
1 300	3012	17.8%	-1.35	-3.6%
1 400	2135	12.6%	-1.01	-2.7%
1 500	1539	9.1%	-0.83	-2.2%
Schwellenwert NO ₂	80			
Schwellenwert in Kfz/h	Anzahl HS	Rate	Absolut in µg/m ³	Relativ
1 000	6353	37.6%	-2.06	-5.5%
1 100	5187	30.7%	-1.89	-5.0%
1 200	3785	22.4%	-1.60	-4.2%
1 300	2599	15.4%	-1.20	-3.2%
1 400	1612	9.5%	-0.78	-2.1%
1 500	918	5.4%	-0.54	-1.4%

3.4 Lutherstadt Wittenberg

Die Betrachtungen für das UVM Wittenberg wurden für das Bezugsjahr 2014 durchgeführt. Dabei wurde die vorhandene Datenbasis aus dem Verkehr- und Umweltmonitoring soweit wie möglich um Daten aus verschiedenen Datenarchiven ergänzt, so dass nur geringe Datenlücken vorhanden waren.

Die Jahreszeitreihe der gemessenen PM10-Tagesmittelwerte für das Jahr 2014 ist in der Abbildung 3-18 dargestellt.

Der Jahresmittelwert der vorliegenden Daten liefert in der Dessauer Straße einen Wert von 24.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

An 26 Tagen wurde ein PM10-Tagesmittelwert von 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten.

Diese Messdaten beinhalten bereits die Wirkung des UVM (temporäre LKW-Umfahrung in West-Ost-Richtung).

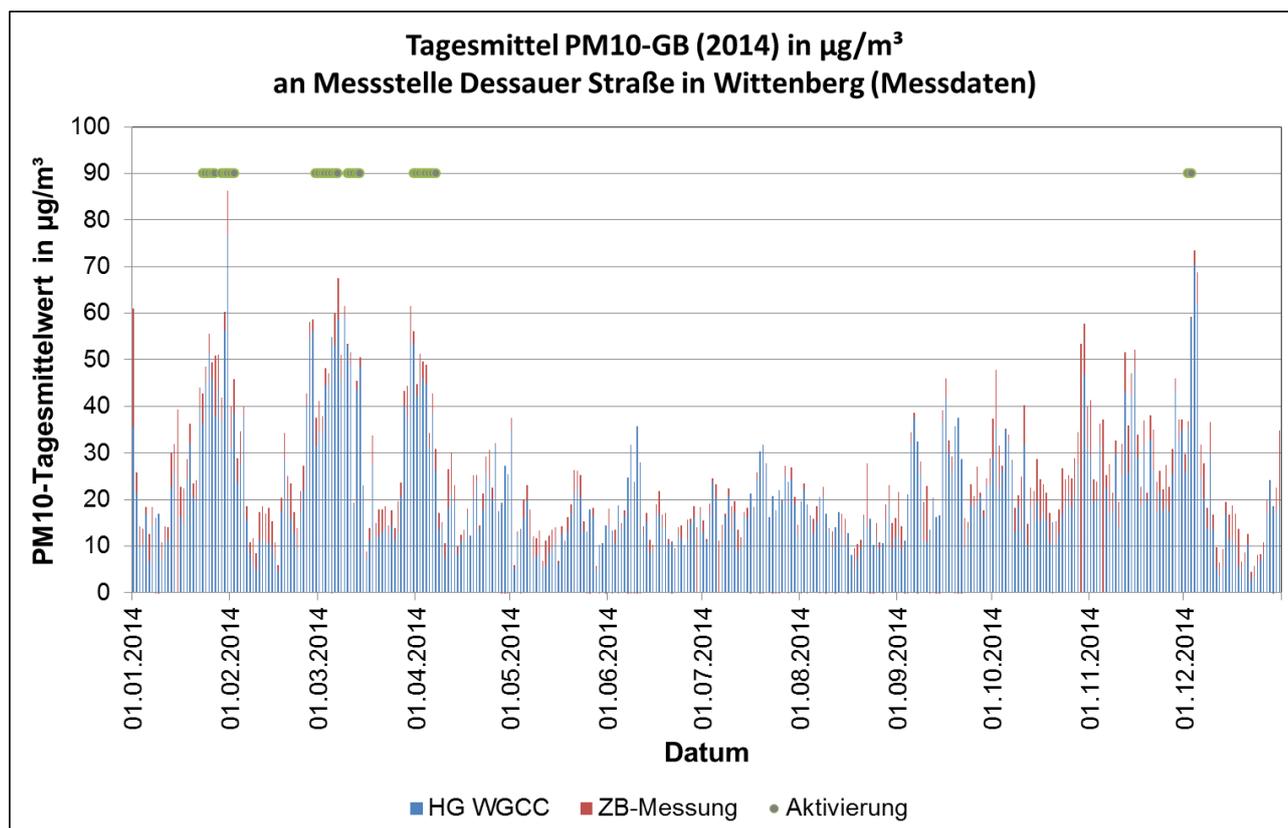


Abbildung 3-18: Gemessene PM10-Tagesmittelwerte für das Basisjahr 2014 in Wittenberg. HG WGCC=Städtischer Hintergrundwert. ZB=Messwert Dessauer Straße minus Hintergrundwert.

3.4.1 Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten im Basisfall

Die LKW-Umleitung war 2014 an 33 Tagen aktiviert (siehe Kapitel 2.4.2).

Die PM10-Minderungsdaten werden wie folgt ermittelt:

Aus der Verkehrsbelegung und dem LKW-Anteil wird die PM10-Emission (Basis HBEFA3.2 für Bezugsjahr 2014) berechnet. Aus der Befolgungsrate wird ein Emissionsminderungsfaktor abgeleitet. Aus diesem und der gemessenen Zusatzbelastung an der Messstelle Dessauer Straße wird die Zusatzbelastung berechnet, die durch die Wirkung der Maßnahme reduziert worden ist. Die Summe aus gemessener PM10-Konzentration und der reduzierten PM10-Zusatzbelastung wird im Folgenden als Nullfallkonzentration (ohne Maßnahmenwirkung) bezeichnet.

Diese Nullfallkonzentrationen sind in der Abbildung 3-19 grafisch dargestellt. Der Übersicht halber wird beispielhaft nur der Zeitraum 1.1. bis 15.4.2014 dargestellt.

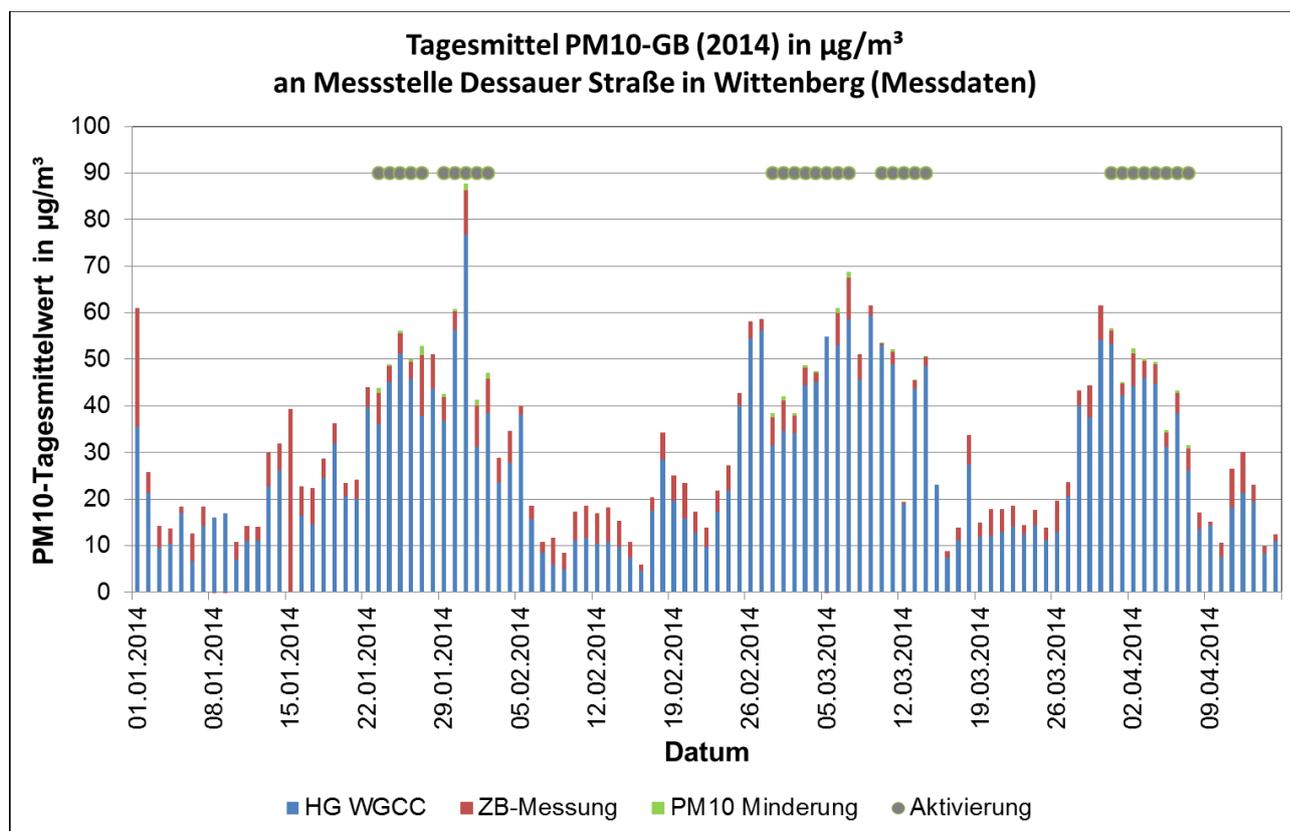


Abbildung 3-19: Nullfallkonzentrationen an der Messstelle Dessauer Straße in Wittenberg für den 1.1. bis 15.4.2014. Erläuterung siehe Text.

Die Auswertung dieser Nullfallkonzentrationen im Vergleich zum Basisfall zeigt, dass durch die temporäre Aktivierung der einseitigen LKW-Umfahrung im Jahr 2014 zwei Tage mit PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen verhindert worden sind. Der PM10-Jahresmittelwert reduzierte sich um 0.1 µg/m³.

3.4.2 Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der PM10-Auslöseschwelle

Im Folgenden werden Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der Auslöseschwellen ermittelt. Ausgangswerte sind hierbei die Nullfallkonzentrationen (also ohne Aktivierung der Maßnahme).

Die Auslösung der Maßnahme erfolgte im operationellen Betrieb bisher manuell auf Basis der Ergebnisse der ProFet-Vorhersage und der fachlichen Einschätzung der diensthabenden Bearbeiter im LÜSA. Es gibt somit keine „starrten“ bzw. automatischen Kriterien für die Auslösung.

Für die folgenden Auswertungen werden feste Aktivierungskriterien (Auto_x) benutzt. Diese sind:

- Aktivierung nur Werktags (Montag bis Freitag) und
- Aktivierung bei einer Überschreitung der ProFet-Tagesvorhersage von 40 µg/m³, 45 µg/m³, 50 µg/m³, 55 µg/m³, 60 µg/m³ und 70 µg/m³.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 3-24 zusammengestellt.

Tabelle 3-24: Ergebnisse für die Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der PM10-Auslöseschwelle für das Bezugsjahr 2014

Fall	PM10-Schwelle ProFet	Aktivierungstage	Aktivierungsrate	Überschreitungstage	Differenz zu Nullfall	PM10-JMW
	µg/m ³	[-]	%	[-]	[-]	µg/m ³
Messung	LÜSA	33	9	26	-2	24.7
Nullfall	keine	0	0	28	0	24.8
Auto 1	40	49	13	25	-3	24.7
Auto 2	45	38	10	26	-2	24.7
Auto 3	50	26	7	26	-2	24.7
Auto 4	55	16	4	27	-1	24.7
Auto 5	60	11	3	28	0	24.8
Auto 6	70	2	1	28	0	24.8

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass mit Erhöhung der Auslöseschwelle die Aktivierungsrate und damit das Minderungspotenzial sinken. Die größte Wirkung hätte im Jahr 2014 eine Auslöseschwelle von 40µg/m³ (Auto 1) gehabt. Damit wären 3 Tagesgrenzwertüberschreitungen vermieden gewesen, also eine mehr als im Basisfall. Dies stellt auch das maximale Minderungspotenzial dar. Die Aktivierungsrate wäre aber ca. 50% höher gewesen (49 zu 33 Tage bzw. 13% zu 9%).

Eine automatisierte Aktivierung bei einem Schwellenwert von 45 µg/m³ (Auto 2) hätte die gleiche Wirkung wie die LÜSA-Aktivierungen gehabt, bei leicht höherer Aktivierungsrate (38 zu 33 Tage bzw. 10% zu 9%).

Bei Schwellenwerten oberhalb von 55 µg/m³ sind keine nennenswerten Minderungen feststellbar.

Der PM10-Jahresmittelwert unterscheidet sich bei allen Aktivierungsfällen um weniger als 0.2 µg/m³.

3.4.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Auswertungen für das Jahr 2014 zeigen, dass das UVM-System Wittenberg mit der Maßnahme LKW-Umleitung in West-Ost-Richtung zu Minderungen der Anzahl von Tagesgrenzwertüberschreitungen relativ zum Nullfall geführt hat.

Die von LÜSA gewählten Aktivierungstage führten zu 2 Überschreitungstagen weniger. Die Minderung hängt naturgemäß vom gewählten Schwellenwertregime ab. Die maximal erreichbare Minderungszahl bei einer automatischen Schaltung über Schwellenwerte der mittels ProFet vorhergesagten PM10-Tagesmittelwerte wären 3 Tage gewesen. Allerdings wäre dann die Aktivierungsrate ca. 50% höher gewesen.

Die Minderungsrate hängt neben dem hier untersuchten Schwellenwertregime ebenfalls von der Befolgungsrate der Maßnahme und hier von den Emissionen der Fahrzeuge, hier insbesondere der LKW und von den Verkehrsmengen ab. Da die fahrzeugspezifischen Emissionsfaktoren in der Vergangenheit höher waren als 2014 ist zu erwarten, dass dort höhere Minderungspotenziale vorlagen.

Umgekehrt würde auch eine höhere Befolgungsrate und/oder eine beidseitige LKW-Umleitung zu höheren Minderungspotenzialen in Form von mehr „eingesparten“ Überschreitungstagen führen.

3.5 Steiermark / Österreich

Auf Grundlage der von der ASFINAG zur Verfügung gestellten Zeitreihen (siehe Kapitel 2.5.5) wurden die Festlegungen der Schwellenwerte und deren Wirkungen im UVM Steiermark untersucht. Wie bereits in Kapitel 2.5 beschrieben, werden im UVM Steiermark für die vier Teilkorridore Kombination von zwei Auslösemechanismen (Modul 1 und Modul 2) verwendet. Dabei werden jeweils Kurzfristprognosen für eine folgende Halbstunde benutzt. Zum einen wird das Tempolimit bei einem einheitlichen Schwellenwert der PM10-Gesamtbelastung in Höhe von 50 µg/m³ aktiviert. Nach den zur Verfügung gestellten Daten ergibt sich, dass die prognostizierten PM10-Konzentrationen aufgerundet werden, so dass das Modul bereits bei Konzentrationswerten größer 49 µg/m³ die Maßnahme aktiviert. Sollte dieser PM10-Schwellenwert nicht überschritten werden, wird mit dem Modul 2 geprüft, ob der NO_x-Zusatzbeitrag durch den lokalen Kfz-Verkehr für die Korridore unterschiedliche Werte überschreitet und damit dann die Maßnahmen ausgelöst wird.

Die einzelnen Schwellenwerte und die Aktivierungsraten für die vier Teilkorridore sind in Tabelle 3-25 aufgelistet. Zusätzlich sind die Jahreszeitreihen der PM10-Belastung und der NO_x-Zusatzbelastung für die vier Korridore getrennt in Abbildung 3-20 bis Abbildung 3-23 dargestellt. Die Aktivierungsrate war im Korridor West mit fast 55 % am höchsten. In den Korridoren Ost und Nord lag sie mit 36-37 % auf gleichem Niveau, während im Korridor Süd die Aktivierungsrate nur bei 28 % lag. In allen vier Korridoren ist die NO_x-Zusatzbelastung (Modul 2) das häufigere Auslösekriterium, besonders in den Korridoren West und Nord führte das Modul zu einer deutlichen Erhöhung der Aktivierungsrate.

Tabelle 3-25: Auslöseschwellen und Aktivierungsraten im UVM Steiermark

Aktivierung	Ost	West	Süd	Nord
Gesamt	36.0%	54.6%	28.2%	36.7%
Modul 1 Schwellenwert PM10	50 µg/m ³	50 µg/m ³	50 µg/m ³	50 µg/m ³
durch Modul 1	46.1%	30.4%	50.5%	20.4%
Modul 2 Schwellenwert Z NO _x	57.3 µg/m ³	45.8 µg/m ³	26.7 µg/m ³	30.6 µg/m ³
durch Modul 2	68.3%	87.9%	56.0%	84.7%

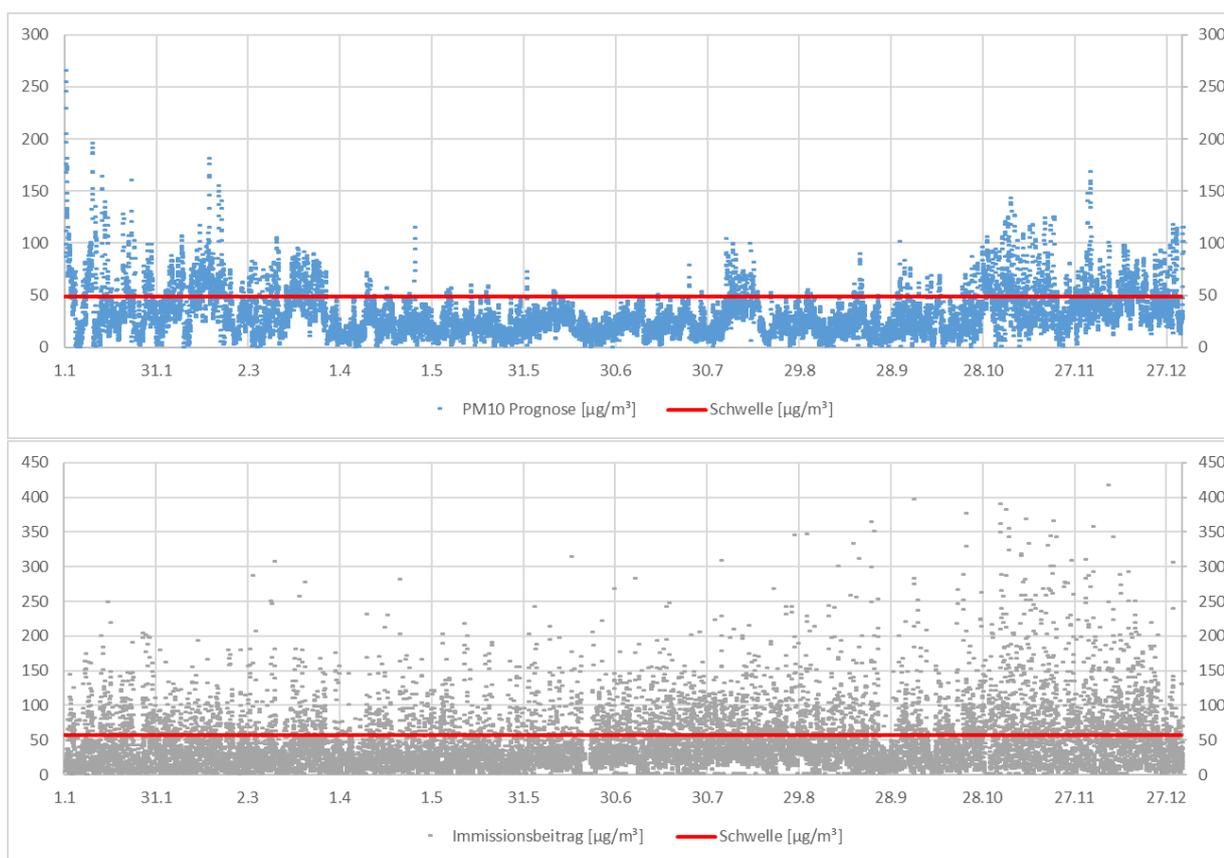


Abbildung 3-20: Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO_x-Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor Ost

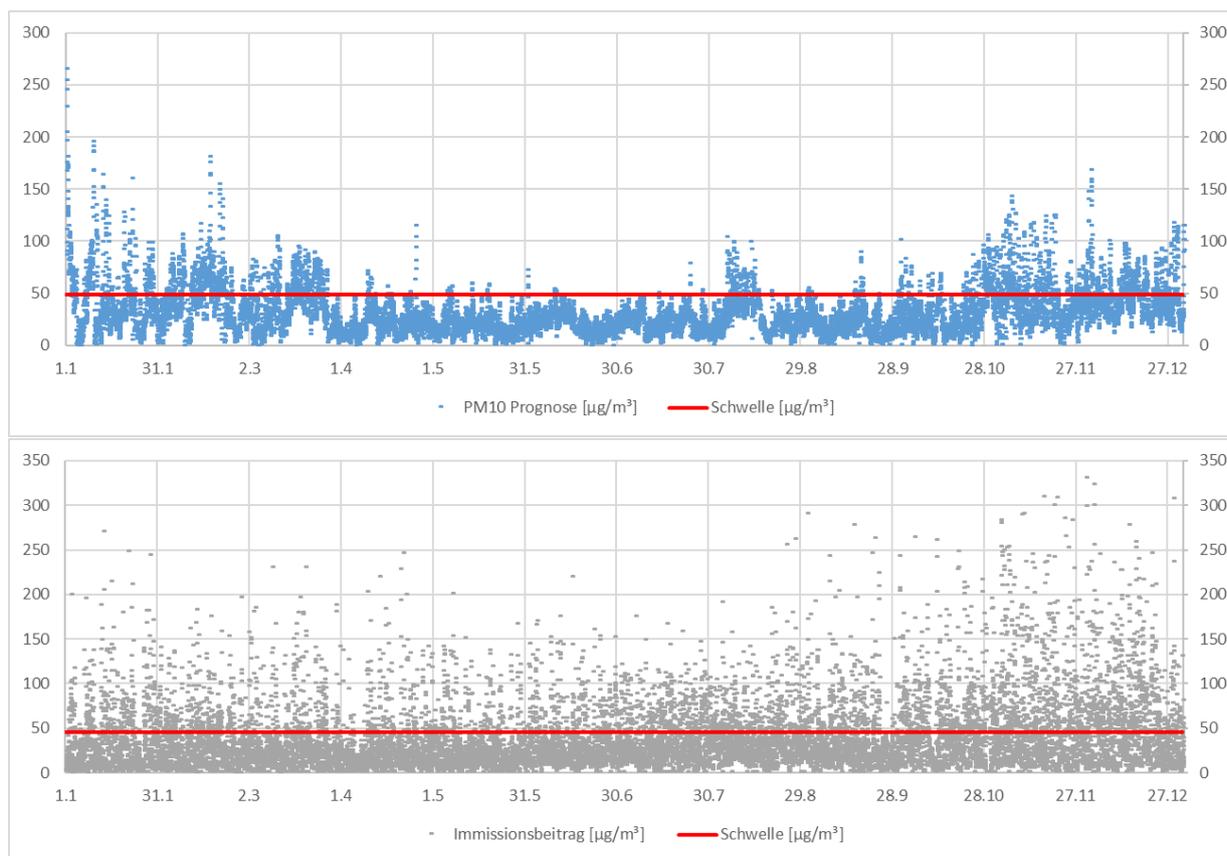


Abbildung 3-21: Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO_x-Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor West

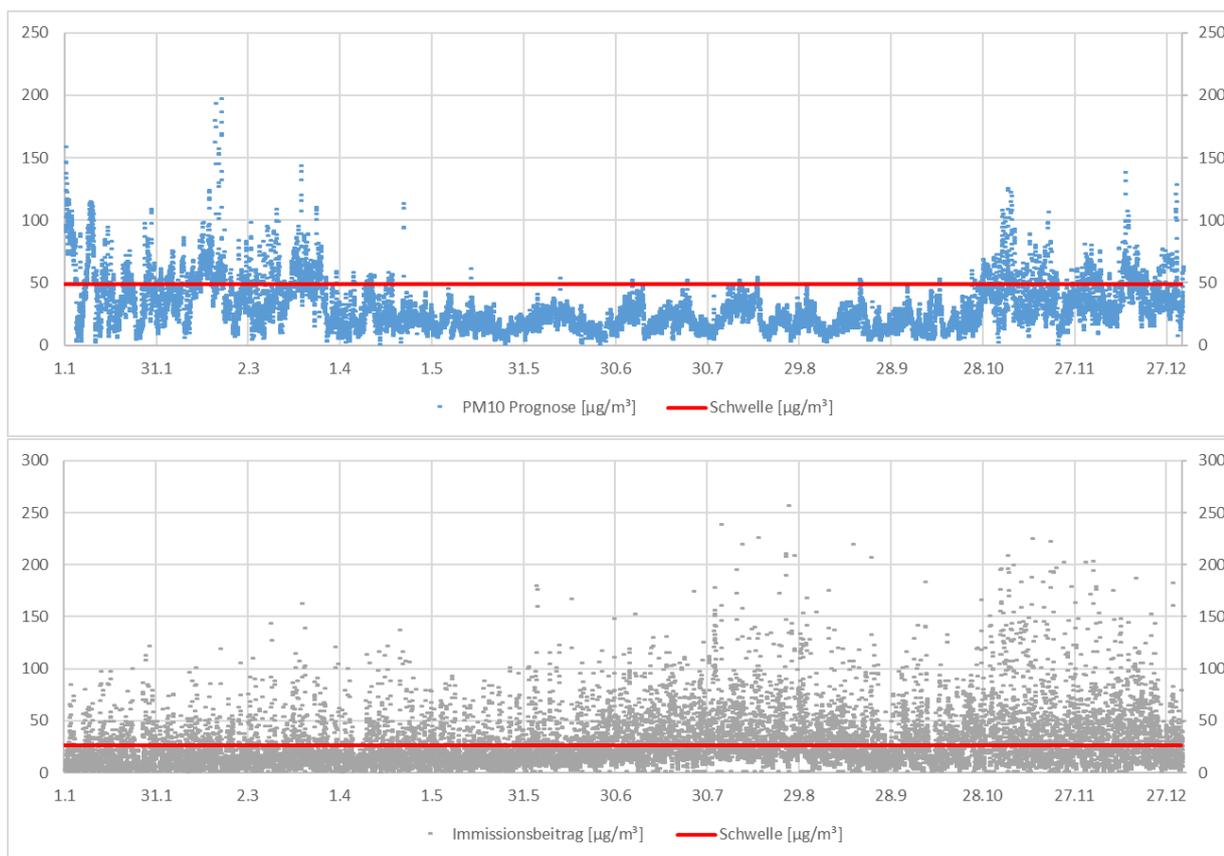


Abbildung 3-22: Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO_x-Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor Süd

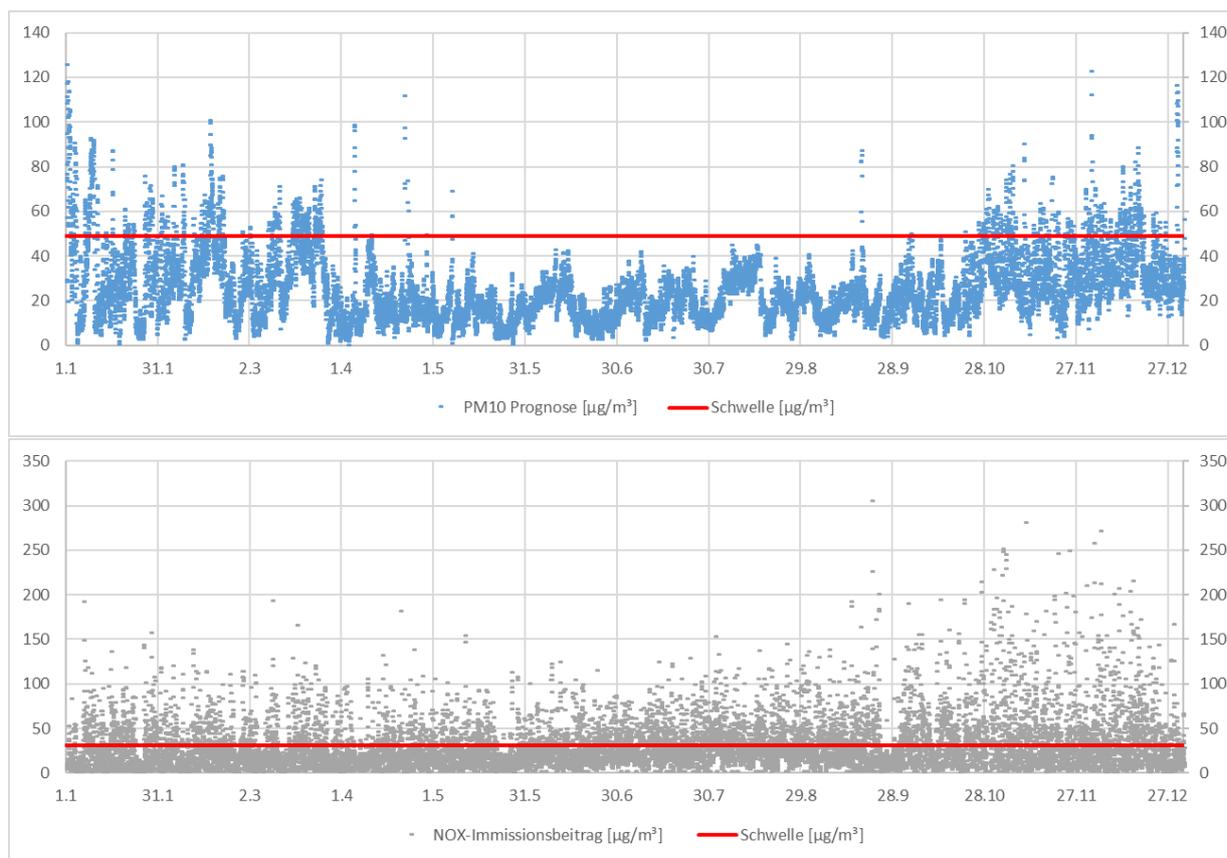


Abbildung 3-23: Zeitreihe der PM10-Konzentration und NO_x-Zusatzbelastung mit jeweiligem Schwellenwert als rote Linie im Korridor Nord

4 Analyse der Verfügbarkeit von Eingangsdaten für die Modellierung

In der notwendigen Modellierung im Rahmen eines UVM werden verschiedene Parametrisierungen eingesetzt, um möglichst sachgerecht und auch effizient die geforderten Berechnungsergebnisse zur Verfügung zu stellen. Dabei spielen insbesondere die Daten zur Aufteilung des Kfz-Verkehrs nach Verkehrsarten (Pkw, SV, ...) und Flottenzusammensetzung (Antriebsart, Schadstoffklassen) sowie zur Verkehrsqualität bei der Bestimmung der Kfz-Emissionen und die Daten zur Meteorologie, zur Vorbelastung und zu den Ausbreitungsbedingungen im Straßenraum bei der Bestimmung der Schadstoff-Immissionen eine große Rolle.

Für die in den UG eingesetzten Modelle werden die in der Anwendung befindlichen Algorithmen und Parametrisierungen beschrieben. Tabelle 4-1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Eingangsdaten und Modelle in den Untersuchungsgebieten. Die einzelnen Besonderheiten für die jeweiligen Modelle werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Tabelle 4-1: Übersicht über die Eingangsdaten und Modelle in den Untersuchungsgebieten

	Braunschweig	Erfurt	Potsdam	Wittenberg
Verkehrsmodell	ViBS ^{mt}	VISUM	-	VISUM ^{*2}
Emissionsmodell	IMMIS ^{em}	HBEFA (Umweltmodul in Vorbereitung)	IMMIS ^{em}	PROKAS_E ^{*2}
Verkehrsstärke	Verkehrsmodell	Detektion an LSA und Messquerschnitten	Detektion mit TEU	Detektion an LSA und Messquerschnitten ^{*2}
Kfz-Arten	Unterscheidung nach Pkw, leichten Nutzfahrzeugen und Schwerverkehr im Verkehrsmodell. Zzgl. Linienbusse lt. Fahrplan, Anteile Krad, Reisebusse pauschal	Unterscheidung Pkw und Lkw im Verkehrsmodell und an Messquerschnitten, weitere pauschal	Unterscheidung Pkw und LKW über Länge aus TEU-Daten. Weitere pauschal.	Unterscheidung Pkw und Lkw im Verkehrsmodell und an Messquerschnitten, weitere pauschal ^{*2}
Flottenzusammensetzung	HBEFA ^{*1}	HBEFA, lokal angepasst	regional angepasst	regional angepasst ^{*2}
Verkehrszustand (LOS)	Verkehrsmodell	Verkehrslagesystem OPTIMA (Verkehrsmodell)	Fundamentaldiagramm aus TEU-Daten	Verkehrslagesystem OPTIMA ^{*2} (Verkehrsmodell)
Ausbreitungsmodellierung	IMMIS ^{net} , IMMIS ^{cpb}	(Umweltmodul in Vorbereitung)	IMMIS ^{net} , IMMIS ^{cpb}	PROKAS ^{online*2}
Meteorologie	LUEN, METAR	Messdaten an 4 Messstationen	LFU, METAR	DWD
Hintergrundbelastung	Messdaten an 2 Hintergrundmessstationen	Messdaten an 2 Hintergrundmessstationen	Messdaten an 2 Hintergrundmessstationen	Messdaten an 1 Hintergrundmessstation
Vorhersagemodelle	Verkehr, Meteorologie und Vorbelastung (Statistik)	Verkehr (Kurzfristprognose)	-	Verkehr ^{*2} (Kurz- und Mittelfristprognose) Immission (Tages- und Vortagesprognose über ProFet)
*1: Wirkung auf regionale Anpassung gering				
*2: derzeit keine online-Anbindung an ProFet, nur offline-Auswertungen möglich				

4.1 Eingangsdaten für die Verkehrsmodellierung

4.1.1 Braunschweig

Das im UVM Braunschweig eingesetzte Verkehrsmonitoringsystem ViBS^{mt} einschließlich der verkehrlichen Eingangs- und Ergebnisdaten wurde bereits in den Anlagen 1 (Kapitel 2.2.3) und 2 (Kapitel 5.1) ausführlich vorgestellt und diskutiert.

Im Rahmen der in diesem Kapitel durchzuführenden Sensitivitätsbetrachtungen werden für ViBS^{mt} folgende Fälle analysiert und verglichen:

- Basisfall: Ergebnisse des Verkehrsmonitorings aus dem Jahr 2015 (IST 2015),
- die direkte Verwendung von Detektionsdaten an Stelle des Verkehrsmodells,
- der Einsatz eines statischen Netzmodells ohne Berücksichtigung von (z. B. aufgrund von Baumaßnahmen) temporären Anpassungen sowie
- der Einsatz statischer (nur vom Tagestyp abhängiger) Quelle-Ziel-Matrizen ohne Berücksichtigung der Detektionsdaten.

Abbildung 4-1 zeigt, dass die Ergebnisse des Verkehrsmonitorings am Querschnitt Altewiekring im Mittel um ca. 7% über den Zahlen aus der Detektion liegen. In den Spitzenstunden treten Abweichungen bis zu 14% auf. Diese lassen sich dadurch erklären, dass über die Detektion in Zeiten sehr hoher Auslastung nicht die eigentliche Nachfrage, sondern de facto die Kapazität des Messquerschnitts gemessen wird. Diese wird im städtischen Netz wiederum maßgeblich durch die Kapazität der benachbarten, lichtsignalisierten Knotenpunkte bestimmt. Um auch Überlastsituationen abbilden zu können, riegeln die im Modell hinterlegten Widerstandsfunktionen dagegen nicht bei Erreichen der Kapazität vollständig ab, wodurch die modellierten Verkehrsstärken die gemessenen bis zu einem gewissen Grad übersteigen können.

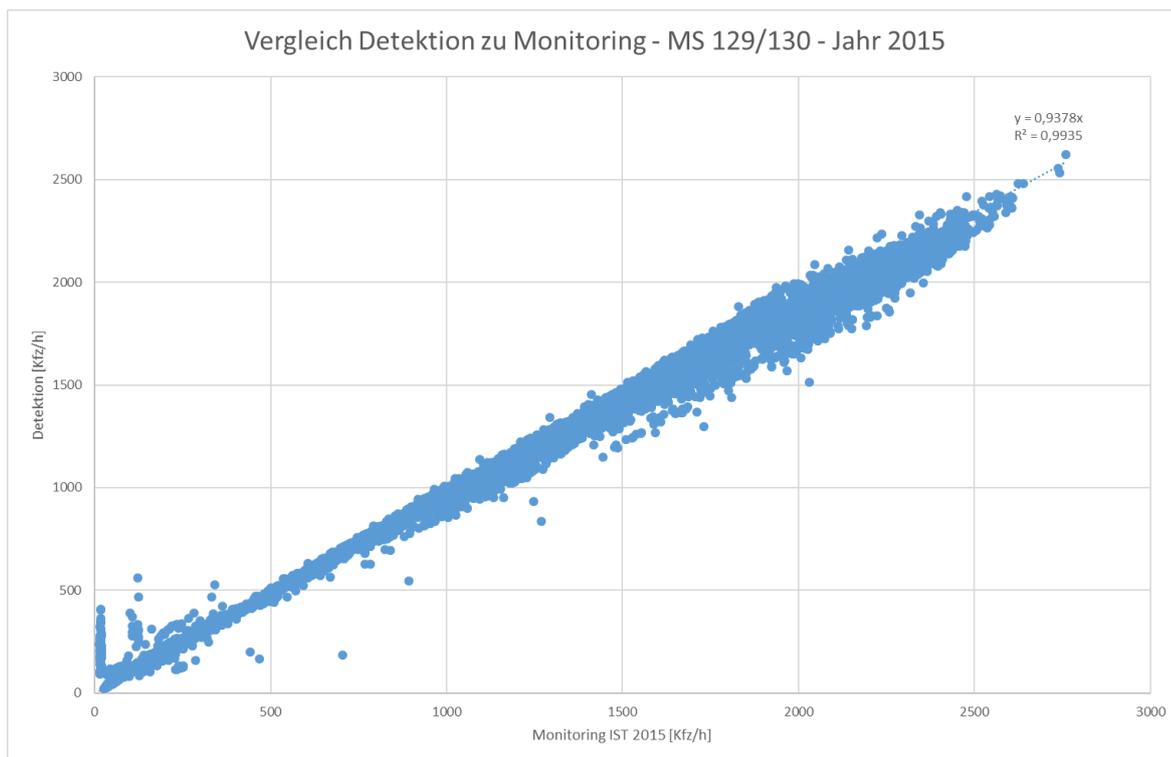


Abbildung 4-1: Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zur Detektion am Querschnitt MS 129/130

In Abbildung 4-2 wird der Einfluss des Netzmodells auf die Ergebnisse untersucht. Während beim realen Monitoringbetrieb (IST 2015) relevante Änderungen im Netzmo-

dell⁶ nachgepflegt werden, wird im Vergleichsfall „statisches Netzmodell“ für das komplette Jahr 2015 ein unverändertes Netzmodell (Stand 2015 ohne Baumaßnahmen) verwendet.

Die ermittelten Verkehrsmengen weichen am Querschnitt Altewiekring im Mittel lediglich um ca. 1% voneinander ab, so dass die Pflege des Netzmodells hier zunächst keine Vorteile zu bringen scheint. Die geringen Abweichungen resultieren jedoch im Wesentlichen daraus, dass direkt am Querschnitt verlässliche Daten aus der Detektion zur Verfügung stehen, die hier in beiden Fällen zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen.

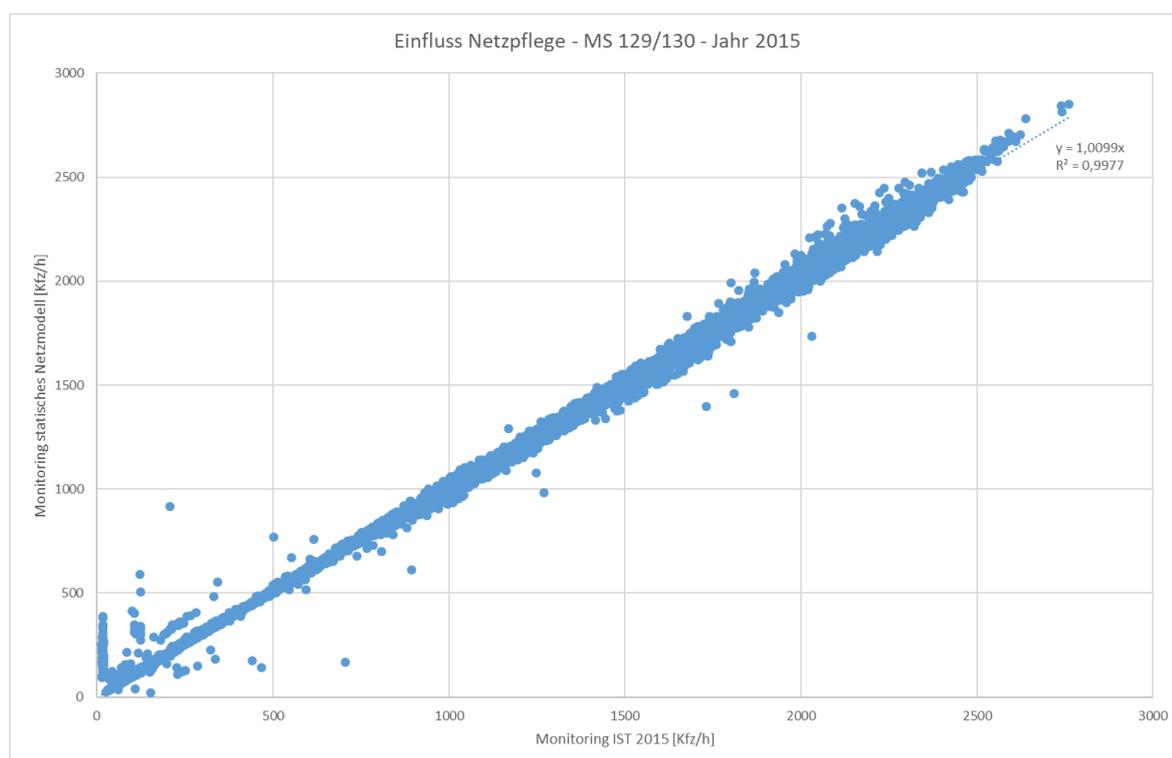


Abbildung 4-2: Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zum Monitoring mit statischem Netzmodell am Querschnitt MS 129/130

Für die Abbildung des Verkehrs im Gesamtnetz ist die Pflege des Netzmodells dagegen durchaus relevant, wie ein beispielhafter Blick auf den Querschnitt Rebenring (zwischen Hamburger Straße und Mühlenpfordstraße; MS 154/155) zeigt (Abbildung 4-3). An diesem Querschnitt fließen keine Daten aus der Detektion in das Monitoring ein. In 2015 wurde der Verkehr hier über längere Zeiträume durch Baumaßnahmen auf der Hamburger Straße sowie auf der Hans-Sommer-Straße beeinflusst. Im statischen Netzmodell werden die Verkehrsstärken während der Bauzeiträume um etwa 17% und im Jahresmittel um 11% gegenüber dem den Ergebnissen IST 2015 überschätzt.

Den Einfluss der aktuellen Detektion auf das Monitoring verdeutlicht Abbildung 4-4. Hier wurden für alle Tage des Jahres 2015 die passenden tagestypabhängigen Quelle-Ziel-

⁶ Insbesondere die Berücksichtigung größerer Baustellen

Matrizen und aktuellen Netzmodelle verwendet. Es fand jedoch kein Abgleich zu den gemessenen Detektionsdaten statt.

Im Mittel wird dadurch die Verkehrsstärke am Altwiekring gegenüber dem IST 2015 um etwa 30% überschätzt, wobei die Abweichungen bei höheren Auslastungen besonders stark und die Streuungen insgesamt sehr groß sind. Eine Berücksichtigung von aktuellen Detektionsdaten ist für eine zeitlich feinteilige Modellierung des Verkehrs daher unverzichtbar.

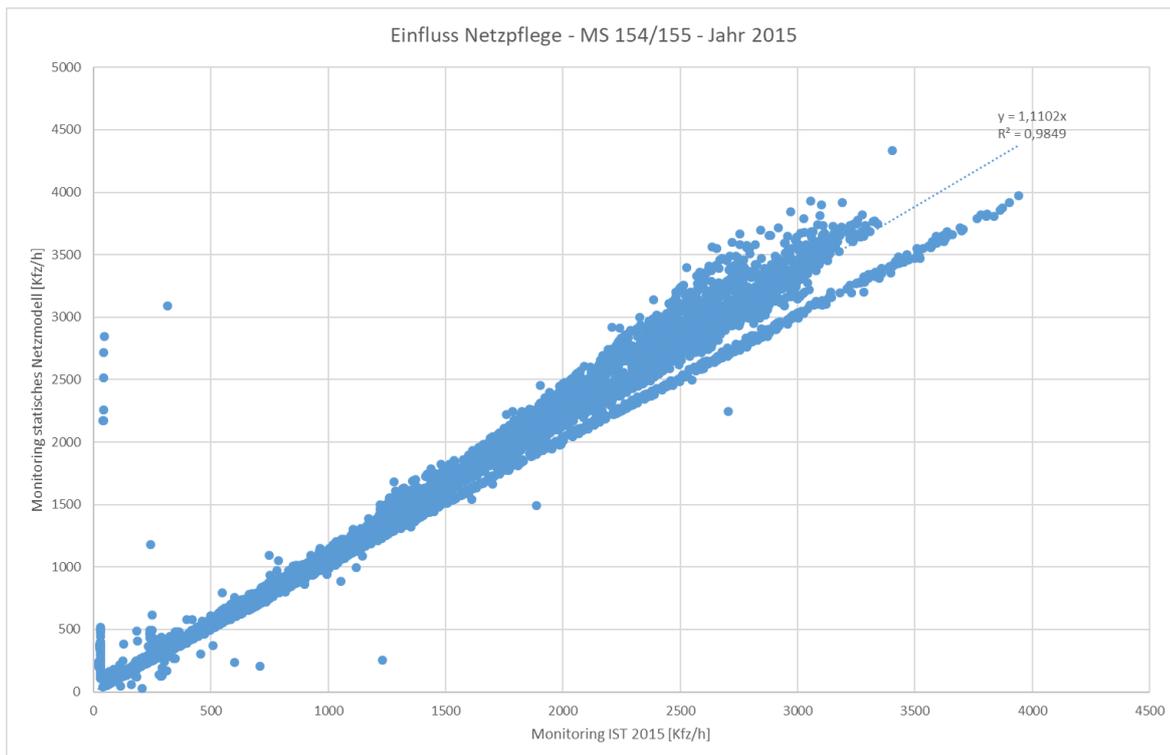


Abbildung 4-3: Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zum Monitoring mit statischem Netzmodell am Querschnitt MS 154/155 (Rebenring)

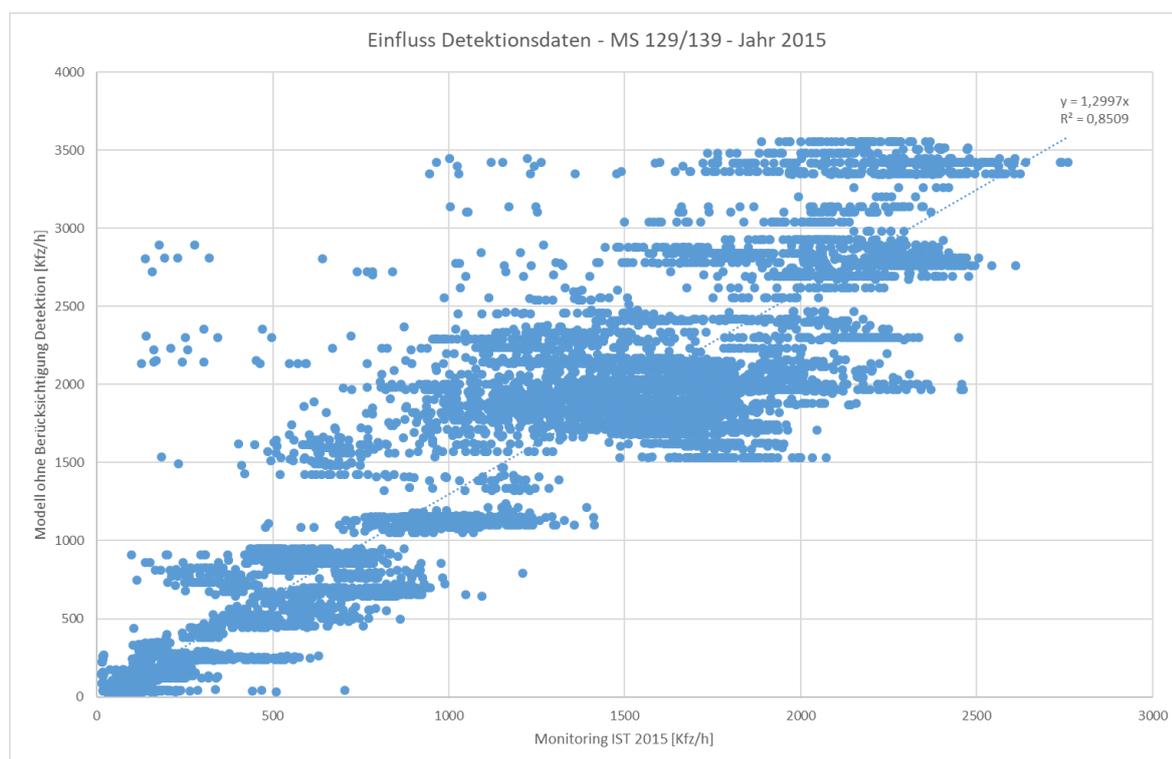


Abbildung 4-4: Stundenweiser Vergleich der IST-Daten 2015 des Verkehrsmonitorings zur Modellierung ohne Berücksichtigung von Detektionsdaten am Querschnitt MS 129/130

4.1.2 Erfurt

Das im UVM Erfurt eingesetzte Verkehrsmodul umfasst die komplette Verkehrsmanagementplattform Erfurt, bestehend aus den Teilsystemen Verkehrsrechnerzentrale (SITRAFFIC Scala), Verkehrs- und Umweltdatenmanagementsystem (pwpTMPlattform) und Verkehrslagesystem (OPTIMA) und ist in Anlage 1 (Kapitel 2.3.3 und 2.3.3.1) ausführlich beschrieben.

Die Eingangsdaten sind nachfolgend zusammengefasst:

- Verkehrsdetektion an Lichtsignalanlagen und Messquerschnitten, insgesamt über 1000 Detektoren im gesamten Stadtgebiet, zeitliche Auflösung 1 min
- Verkehrsereignisse (Baustellen, Veranstaltungen) als geplante Einschränkungen der Verfügbarkeit des Verkehrsnetzes, zyklische Aktualisierung
- Faktoren zur Aufteilung der automatisch erfassten Fahrzeugklassen Pkw und Lkw auf die HBEFA-relevanten Fahrzeugklassen (durch manuelle Erhebung für die relevanten Streckenabschnitte Bergstraße und Leipziger Straße ermittelt)
- Verkehrsmodell VISUM mit Verkehrsnachfrage (4 Tageskategorien mit jeweils 24 Stunden Matrizen), Verkehrsnetz und verorteter Verkehrsdetektion (Detektoren, Zählstellen)
- Verkehrslagesystem OPTIMA zur Berechnung von Verkehrslageanalyse (aktuelle Verkehrslage und Verkehrslageprognose (Kurzfristprognose, Zeithorizont 1 Stunde) unter Nutzung des Verkehrsmodells und der o. g. Verkehrsdaten, zeitliche Auflösung 5 min

4.2 Eingangsdaten für die Emissionsmodellierung

4.2.1 Potsdam

Die Verkehrsstärkedaten in den Hotspots werden in Potsdam direkt aus Verkehrsmessstellen abgeleitet. Für die Detektion kommen Traffic Eye Universal (TEU) zum Einsatz. Diese zeichnen sich insbesondere durch ihre autarke Energieversorgung und damit flexible Einsatzmöglichkeiten aus. Die TEUs erfassen die aktuelle Verkehrsstärke sowie die lokale Geschwindigkeit und unterscheiden zwischen Pkw und Lkw. Die in einem Zeitraster von 5-Minuten übertragenen Daten zur Verkehrsstärke (getrennt nach Pkw und Lkw) werden zu Halbstundenwerten aggregiert und dem Umweltmodul zur Verfügung gestellt.

Die Verfügbarkeit der Verkehrsdaten lag in der Behlertstraße für 2013 bei 98,49% und für 2014 bei 98,40%. In der Zeppelinstraße in 2013 bei 95,98% (einwärts) bzw. 96,71% (auswärts).

Mittels Fundamentaldiagramm wird in Potsdam aus der strategischen Detektion die Verkehrsqualität abgeleitet. Dazu ist eine Parametrierung der Anlagen entsprechend den lokalen Rahmenbedingungen erforderlich. Die Parametrierung erfolgt entsprechend HBEFA 3.1 (siehe Anlagen 1 und 2).

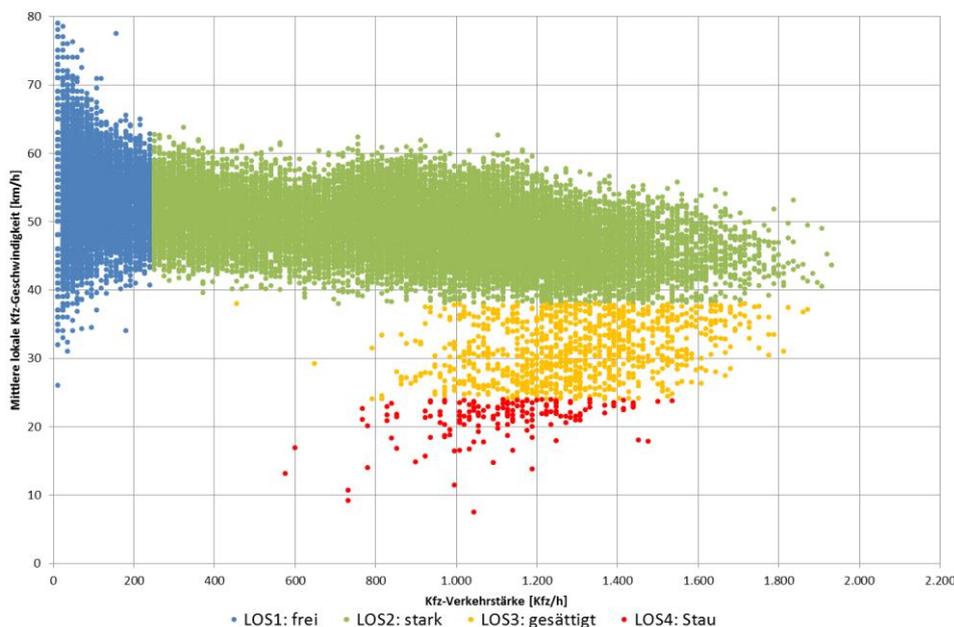


Abbildung 4-5: Beispiel für die Darstellung der Verkehrsqualität im Fundamentaldiagramm, hier: Behlertstraße nach Einführung der UVS (Q4/2013)

Die Stadt Potsdam führt regelmäßig Kennzeichenerfassungen für die Analyse der Verkehrsentwicklung und insbesondere der Pendler- und Durchgangsverkehrsanteile durch. Damit verfügt Potsdam auch über die notwendigen Voraussetzungen für eine regional spezifische Bestimmung der Flottenzusammensetzung.

4.2.2 Sensitivität der Ergebnisse

Die wesentlichen Anforderungen an die verkehrlichen Eingangsdaten für die Emissionsmodellierung im Rahmen der Umweltorientierten Verkehrssteuerung bestehen darin, dass sich die Verkehrsverhältnisse real widerspiegeln und zeitnah zur Verfügung stehen. Dies insbesondere vor dem Hintergrund der zahlreichen Einflüsse auf die Verkehrsstärke und die Verkehrssituation im städtischen Verkehr wie z. B. durch Parken in zweiter Reihe, die Wirkungen von Baumaßnahmen und ungeplanten Ereignissen.

Bei der Nutzung aktueller Messdaten aus dem Verkehr werden bereits alle relevanten Ereignisse berücksichtigt. So äußern sich Verlagerungswirkungen direkt in der gemessenen Verkehrsstärke und bilden zusammen mit der lokalen Fahrgeschwindigkeit die Grundlage für die Bestimmung der aktuellen Verkehrssituation. Dabei besitzt die Lage des Messstandortes ebenso wie die Messgenauigkeit eine bedeutende Rolle (s. Kap. 5).

Der gesamte Prozess der Datenerhebung-Verarbeitung-Bereitstellung-Emissionsmodellierung bis zur Umweltschaltung vor Ort besitzt einen nicht zu unterschätzenden Zeitbedarf. Vor diesem Hintergrund werden immer wieder die Anforderungen an die zeitliche Auflösung und der Einsatz von verkehrlichen Prognosemodellen diskutiert (s. Kap.6).

4.3 Eingangsdaten für die Ausbreitungsmodellierung

4.3.1 Braunschweig

Für die Ausbreitungsberechnungen des IMMIS^{mt}-Systems sind stündliche meteorologische Eingangsdaten zur Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie zur Stabilität der Atmosphäre notwendig. Zusätzlich wird die Globalstrahlung zur Berechnung der NO₂-Gesamtmissionen nach Hertel & Berkowicz (1989) benötigt.

Die Daten zur Windrichtung und -geschwindigkeit stammen vornehmlich von der Hintergrundstation Braunschweig/Broitzem (BGSW) des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsen (LÜN) und werden bei Ausfall durch METAR-Daten vom Flughafen Braunschweig und Hannover ergänzt. Die Lufttemperatur wird als Mittelwert über alle zu dem aktuellen Zeitpunkt verfügbaren Messwerte der Stationen (LÜN-Stationen Braunschweig/Broitzem (BGSW) und Braunschweig/Altewiekring (BGVT), sowie die METAR-Daten der Flughäfen Braunschweig und Hannover) gebildet. Als Daten zur Globalstrahlung werden vornehmlich Messdaten von der Station Braunschweig/Broitzem (BGSW) verwendet. Falls diese nicht verfügbar sind, wird die Globalstrahlung aus den METAR-Daten der Flughäfen Braunschweig und Hannover berechnet. Zur Berechnung der Stabilitätsklasse werden Daten des Flughafens Braunschweig und bei dortigen Fehlwerten, z. B. während der Nachtstunden, Daten des Flughafens Hannover verwendet.

Zur Berechnung der Gesamtmissionen werden stündliche Messdaten der Luftschadstoffe NO₂, NO_x, PM₁₀ und O₃ benötigt.

Die Daten zur Berechnung der Hintergrundbelastung und der NO₂-Gesamtmissionen nach Hertel & Berkowicz (1989) stammen von der LÜN-Hintergrundstation Braunschweig/Broitzem (BGSW). Für die alternative NO₂-Berechnungsmethode, die angewendet wird, wenn keine Ozon-Messdaten vorliegen, werden Messdaten der Verkehrs-LÜN-Station Altewiekring (BGVT) verwendet.

4.3.2 Potsdam

Für die Ausbreitungsberechnungen des IMMIS^{mt}-Systems sind halbstündliche meteorologische Eingangsdaten zur Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie zur Stabilität der Atmosphäre notwendig. Zusätzlich wird die Globalstrahlung zur Berechnung der NO₂-Gesamtmissionen nach Hertel & Berkowicz (1989) benötigt. Für die Berechnungen in Potsdam werden die meteorologischen METAR-Daten der Flughäfen Schönefeld und Tegel verwendet.

Die Daten zur Windrichtung und -geschwindigkeit stammen vornehmlich vom Flughafen Tegel und werden bei Ausfall durch Daten vom Flughafen Schönefeld ergänzt. Die Lufttemperatur wird als Mittelwert gebildet. Da für die Globalstrahlung und die Stabilitätsklasse keine Messdaten aus den METAR-Daten verfügbar sind, werden diese aus den METAR-Daten der beiden Flughäfen berechnet. Können für einen Berechnungszeitpunkt für die Stationen Tegel und Schönefeld Globalstrahlung und Stabilitätsklasse ermittelt werden, so wird der Mittelwert für die Ausbreitungsrechnung verwendet.

Zur Berechnung der Gesamtmissionen werden stündliche Messdaten der Luftschadstoffe NO₂, NO_x, PM10 und O₃ benötigt.

Die Daten zur Berechnung der Hintergrundbelastung und der NO₂-Gesamtmissionen nach Hertel & Berkowicz (1989) stammen von der der Hintergrundstation Potsdam Zentrum. Für die alternative NO₂-Berechnungsmethode, die angewendet wird, wenn keine Ozon-Messdaten vorliegen, werden Messdaten der beiden Verkehrs-Stationen Potsdam Zeppelinstraße und Potsdam Großbeerenstraße verwendet.

5 Analyse der Qualität von Eingangsdaten

In diesem Kapitel wird untersucht, inwieweit eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der Qualität der Eingangsdaten zur Verbesserung bzw. Verschlechterung der Ergebnisse des Umweltmoduls führt (z. B. Messwerte oder regionalisierte Eingangswerte vs. Standardwerte). Als Qualitätskriterium wird eine Veränderung der Modellgüte gegenüber dem Basisfall herangezogen.

Die vergleichenden Sensitivitätsberechnungen wurden für NO₂ und PM_x sowie CO₂ und Verbrauch für das jeweils in Kapitel 2 verwendete Bezugsjahr im jeweiligen Untersuchungsgebiet, mit dem dort installierten Umweltmodul durchgeführt.

Nachfolgend werden die durchgeführten Datenanalysen beschrieben und bewertet.

5.1 Einfluss der Lkw-Anteile

5.1.1 Braunschweig

Der Schwerverkehr hat auf die Modellierung der verkehrlichen Emissionen gemäß HBEFA einen hohen Einfluss, so dass eine möglichst exakte Bestimmung des Schwerverkehrs wichtig ist.

Wie in Kapitel 5.1.3 der Anlage 2 dargestellt, ist die Abbildung des Schwerverkehrs innerhalb des UVM Braunschweig aktuell noch nicht vollständig zufriedenstellend. Die verkehrliche Detektion liefert systembedingt nur eine grobe, auf Fahrzeuglängen basierende Einteilung in zwei Fahrzeugklassen. Insbesondere für den Bereich Altewiekring zeigt die Detektion dabei unplausibel hohe Werte für den Schwerverkehr.

ViBS^{mt} verwendet daher als Grundlage für seine Berechnungen aus der Detektion nur die Gesamtverkehrsstärke aller Kfz und bestimmt den Schwerverkehr per Verkehrsmodell, ergänzt um den Linienbusverkehr gemäß Fahrplan. Das eingesetzte Lkw-Modell bildet den Tagesverkehr in Braunschweig insgesamt zufriedenstellend ab, hat aber möglicherweise Schwächen bei der tageszeitlichen Verteilung.

Anfang Mai 2017 wurde daher im Bereich Altewiekring eine 72-stündige Videoerhebung durchgeführt, auf deren Basis die dortige Detektion sowie das in ViBS^{mt} eingesetzte Lkw-Modell evaluiert werden.

Für den Erhebungszeitraum wurden die Gesamtverkehrsstärken sowie die Verkehrsstärken im Schwerverkehr aus der Referenzerhebung (Video), den Detektionsdaten des VM Braunschweig (TEU) und des Verkehrsmonitorings (ViBS^{mt}) ermittelt und miteinander verglichen.

Aus Abbildung 5-1 ist zu erkennen, dass die Fahrzeuganzahlen insgesamt durch die am Querschnitt vorhandene TEU-Detektion sehr gut erfasst werden. Im Vergleich dazu liegen die Werte aus dem Monitoring in den Spitzenstunden um bis zu 14% über der Referenzmessung.

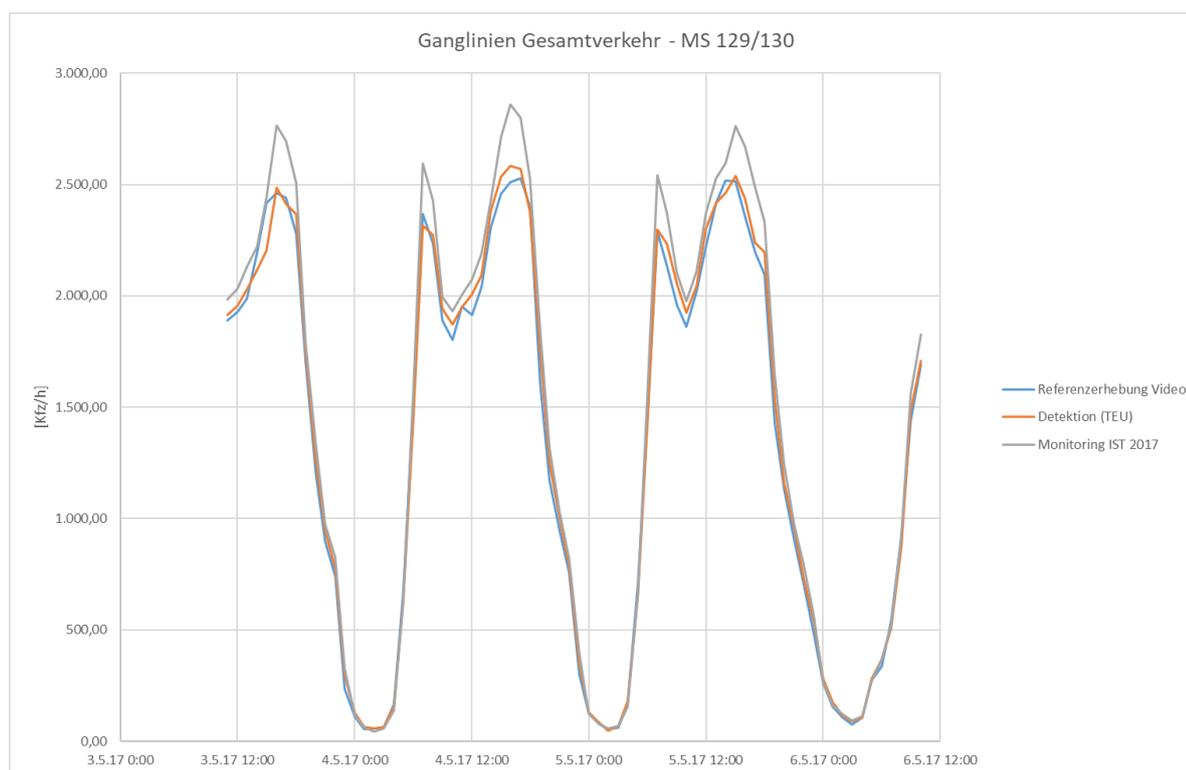


Abbildung 5-1: Ganglinien der stündlichen Verkehrsstärken (alle Kfz) am Querschnitt Altewiekring (MS 129/130)

Bei der Betrachtung des Schwerverkehrs zeigt sich jedoch, dass dieser durch die vorhandene Detektion im Mittel um den Faktor 3,3 überschätzt wird (Abbildung 5-2). Die Auswertung belegt, dass die vorhandene Detektion aktuell nicht als Datengrundlage für die Ermittlung des Schwerverkehrs am Altewiekring geeignet ist.

Durch das Monitoringsystem wird der Schwerverkehr dagegen im Mittel um 18% unterschätzt (Abbildung 5-3).

Eine Betrachtung der Ganglinien im Schwerverkehr (Abbildung 5-4) zeigt, dass die Unterschätzung durch das Monitoring insbesondere in der morgendlichen Spitzenstunde und im Vormittagsbereich auftritt. Am Freitagnachmittag (05.05.2017) wird der Schwerverkehr durch das Monitoring erkennbar überschätzt.

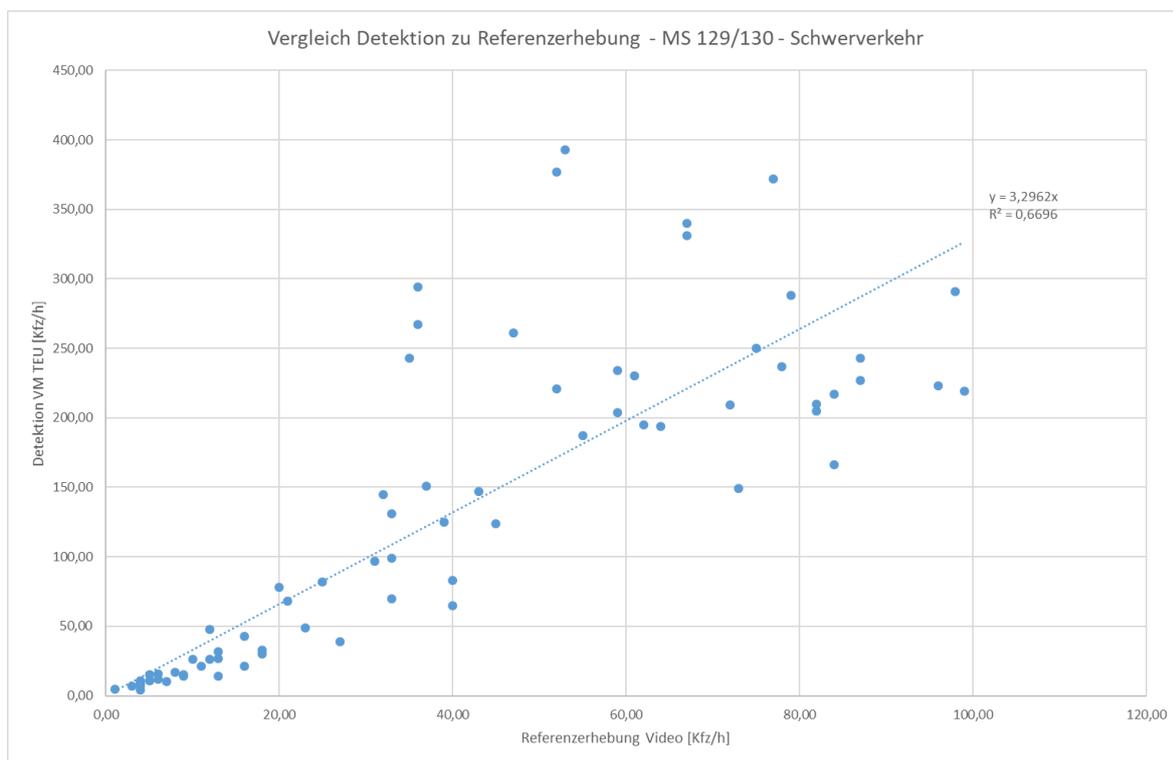


Abbildung 5-2: Vergleich der stündlichen Verkehrsstärken im Schwerverkehr zwischen Referenzmessung und TEU-Detektion (MS 129/130)

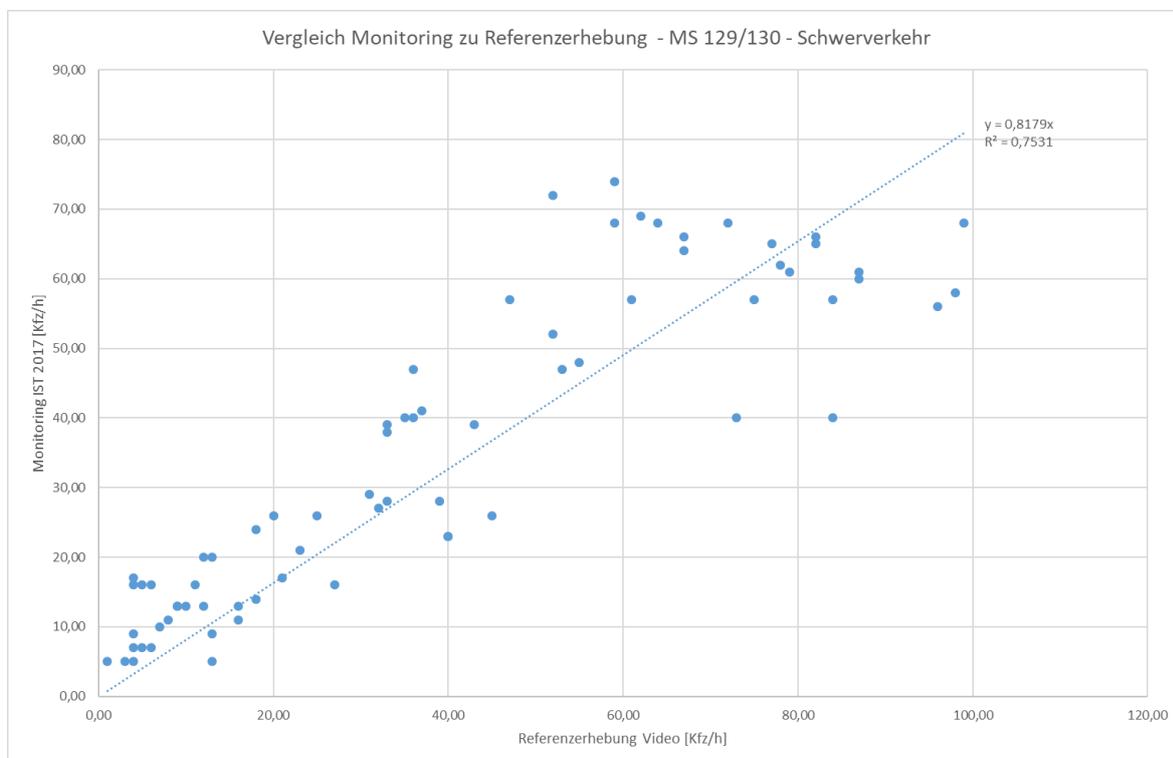


Abbildung 5-3: Vergleich der stündlichen Verkehrsstärken im Schwerverkehr zwischen Referenzmessung und Monitoring (MS 129/130)

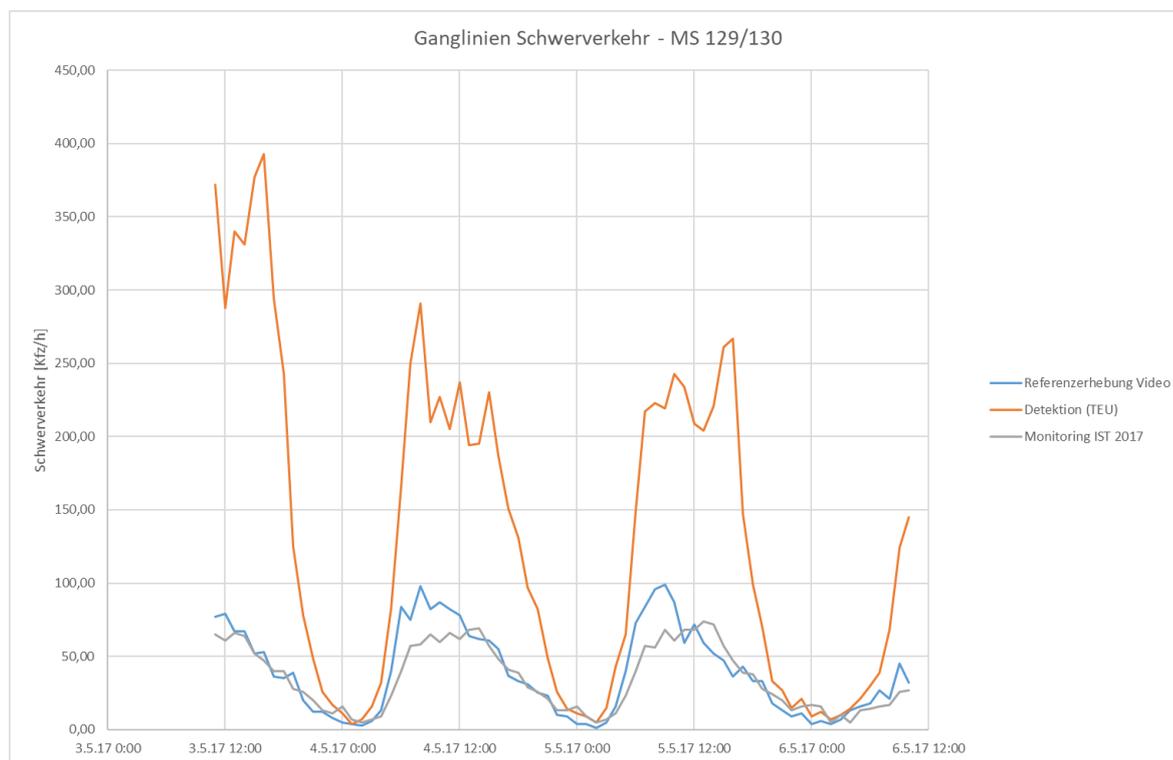


Abbildung 5-4: Ganglinien der stündlichen Verkehrsstärken des Schwerverkehrs am Querschnitt Altewiekering (MS 129/130)

Es ist in Braunschweig geplant, die hier dargestellten Ergebnisse auf Basis weiterer Videoerhebungen an anderen Stellen im Stadtgebiet zu verifizieren und zu ergänzen, um darauf aufbauend das Lkw-Modell im ViBS^{mt} zu verbessern. Dies wird jedoch voraussichtlich erst im 2. Quartal 2018 erfolgen, sodass die Ergebnisse leider nicht mehr in diesem Projekt berücksichtigt werden können.

5.1.2 Erfurt

Zur Verkehrsdetektion an Messquerschnitten werden Traffic Eyes eingesetzt. Die Unterscheidung der Fahrzeugklassen erfolgt mit einem Längenkriterium. Das führt zu einer Unschärfe bei der Erfassung von Fahrzeugen mit einer Länge in der Nähe des eingestellten Längenkriteriums, d. h. insbesondere der leichten Nutzfahrzeuge. Im Rahmen der beiden Pilotvorhaben standen die Verkehrsstärken zunächst nur in der Differenzierung nach Pkw und Lkw zur Verfügung. Mit Hilfe manueller Verkehrserhebungen wurden daher für die beiden Streckenabschnitte Bergstraße und Leipziger Straße Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der HBEFA-relevanten Fahrzeugklassen (Pkw, LNfz, SNfz) aus den automatisch erfassten Fahrzeugklassen (Pkw, Lkw) ermittelt. Diese Faktoren wurden dann auf alle automatisch erfassten Verkehrsdaten dieser Streckenabschnitte angewendet.

Das Verkehrsmodell differenziert hinsichtlich der Verkehrsnachfrage nach Matrizen für Pkw und Lkw (zukünftig Pkw, LNfz, SNfz). Durch die getrennte Verkehrsumlegung dieser Nachfragematrizen kann das mit dem Verkehrsmodell und der jeweils aktuellen Verkehrsdetektion arbeitende Verkehrslagesystem OPTIMA netzweite Verkehrsstärken nach den genannten Fahrzeugklassen ermitteln. Diese Vorgehensweise wurde bisher

für die beiden Pilotstrecken Bergstraße und Leipziger Straße praktiziert und wird zukünftig netzweit umgesetzt.

Aufgrund der UVM-Steuerung nach u. a. Immissionsmesswerten haben die Fahrzeugklassen-Anteile (insbesondere der Lkw-Anteile) derzeit noch keinen Einfluss auf die UVM-Steuerung. Mit Integration eines Umweltmoduls zum Emissions- und Immissionsmonitoring hat deren Kenntnis jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Vorhersagegenauigkeit und die Wirksamkeit der UVM-Steuerung. Für die im Rahmen der Pilotvorhaben praktizierte Wirkungsermittlung mit Fokus auf die verkehrlichen Emissionen war eine präzise Bestimmung der Fahrzeugklassen-Anteile bereits bisher von besonderer Bedeutung.

5.1.3 Potsdam

Infolge von Baumaßnahmen wurde die Führung der Lkw-Verkehre in Potsdam während der Evaluierungsperiode modifiziert. In der Folge entstanden in den Hotspots veränderte Lkw-Verkehrsstärken, die nicht ursächlich mit der UVS selbst in Verbindung stehen.

Mit der Aufteilung der Gesamteffekte auf die Teileffekte der Drosselung, der Verstärkung und des Lkw-Verkehrs wurde im Rahmen der Evaluierung diesem Umstand Rechnung getragen. Hiermit konnte der Teil der verkehrlichen und lufthygienischen Effekte herausgearbeitet werden, der ursächlich auf die UVS zurückzuführen ist.

Die Fahrzeugerkennung erfolgt aktuell durch die lokale Detektion, wodurch weitgehend lückenlose Zeitreihen in hoher Auflösung (5 Minuten) für die Hotspots zur Verfügung stehen. Somit werden Tages-, Wochen- und Jahresgang sehr präzise abgebildet.

Hinsichtlich der Fahrzeugartenunterscheidung arbeiten die in Potsdam eingesetzten Traffic Eyes mit einem Längenkriterium. Dies führt zu einer gewissen Unschärfe bei der Erfassung von Fahrzeugen mit einer Länge in der Nähe des eingestellten Längenkriteriums (insbes. leichte Nutzfahrzeuge).

Grundsätzlich werden an die Standortauswahl, die Inbetriebsetzung und die Qualitätssicherung besondere Anforderungen gestellt.

Standortauswahl und Geometrie:

- Strategischer Standort, außerhalb der Beschleunigung im Knotenabfluss sowie der Verzögerung im Knotenzufluss
- Höhe der Montage der Detektoren und seitliches Verhältnis zu den Fahrstreifen zur Vermeidung von Verschattungen

Inbetriebsetzung:

- Mit jeder Inbetriebnahme ist eine stichprobenartige Kontrollzählung verbunden

Qualitätssicherung:

- Bestandteil jeder Wartung ist eine Plausibilitätsprüfung
- In der VSMZ werden regelmäßige Prüfungen zur Höhe der Lkw-Anteile durchgeführt

5.1.4 Wittenberg

Die Vorhersagen des PM10-Tagesmittelwertes, welche im UVM als Auslöseschwellen verwendet werden, erfolgen über das Umweltmodul ProFet. Dieses ist ein statistisches

Modell. Die im Modell verarbeiteten Eingangsdaten sind in Anlage 2, dort Tabelle 5-3, aufgeführt. Die Verkehrsmenge und insbesondere der LKW-Anteil sind keine direkten Eingangsgrößen. Eine indirekte Berücksichtigung des Verkehrswochengangs erfolgt über die Differenzierung der Korrelationsfunktionen in Werktag und Wochenende sowie bei der Tagesvorhersage über die Einbeziehung des PM10-1/2 h-Mittelwertes an Station Wittenberg Dessauer Straße um 6.30 Uhr. Die Kenntnis der LKW-Anteile hat somit bei ProFet keinen Einfluss auf die Vorhersagegenauigkeit und damit auf die Wirksamkeit der UVM in Wittenberg.

5.2 Einfluss der Berechnung des Level-Of-Service (LOS)

5.2.1 Braunschweig

Im UVM-Braunschweig wird zur Bestimmung des LOS ein einfaches, kapazitätsbasiertes Modell eingesetzt. Die Streckenkapazität aus dem Netzmodell wird dabei über knotenspezifische Faktoren angepasst, durch welche die Einflüsse der Kapazität am Knotenpunkt auf die Streckenkapazität berücksichtigt werden. Änderungen an der LSA-Steuerung des Knotenpunkts (z. B. bedingt durch die Aktivierung einer UVM-Maßnahme) werden über entsprechende Veränderungen der Anpassungsfaktoren berücksichtigt. Die Streckenkapazitäten und Anpassungsfaktoren für den Streckenzug Altwiekring wurden aus durchgeführten Mikrosimulationen abgeleitet.

Zwischenzeitlich liegen aus dem Arbeitspaket „Weiterentwicklung des HBEFA-Verkehrssituationsschemas“ des Forschungsprojektes „Ermittlung von Emissionsfaktoren von Kraftfahrzeugen unter Berücksichtigung zukünftiger Antriebskonzepte und der Vorkette von Kraftstoffen“ (Kohlen et al., 2016) neue Erkenntnisse und Vorschläge zur Ermittlung HBEFA-konformer LOS-Werte vor.

Die LOS-Daten für das Jahr 2015 werden unter Berücksichtigung der dort im Kapitel 6.4.3 vorgeschlagenen Ansätze neu berechnet und mit den bisherigen Werten verglichen. Die entsprechenden Auswertungen werden im Endbericht dokumentiert.

5.2.2 Erfurt

Im UVM Erfurt wurde im Rahmen der beiden Pilotvorhaben Bergstraße und Leipziger Straße zur Bestimmung des LOS ein einfaches verkehrsdichtebasiertes Modell eingesetzt, vgl. hierzu Kapitel 2.2.2.2 Der Einfluss des Verkehrsablaufes an den Knotenpunkten (Freigabezeitanteile) wurde über knoten- bzw. abbiegebeziehungsspezifische Faktoren berücksichtigt. Ergänzend wurden Messfahrten mit Aufzeichnung von FCD-Geschwindigkeitsverläufen durchgeführt.

Seit Umstellung des UVM-Systems auf den Regelbetrieb und Integration des Verkehrslagesystems in die Verkehrsmanagementplattform Erfurt erfolgt die Ermittlung des LOS auf Basis als Verhältnis der aktuellen Fahrzeit zur Fahrzeit bei freiem Verkehrsfluss. Dazu werden jeweils Streckenabschnitte des strategischen Verkehrsnetzes (zwischen den sogenannten Hauptknoten) betrachtet. Die Ermittlung des LOS erfolgt in 5-min-Intervallen (Berechnungsintervall der netzweiten Verkehrslage) und steht in diesen Intervallen auch für die UVM-Steuerung zur Verfügung.

Die Kenntnis des LOS und die hier zu dessen Ermittlung verwendeten mittleren Fahrzeiten haben einen entscheidenden Einfluss auf die UVM-Steuerung insbesondere dann, wenn ein darauf aufbauendes Emissions- und Immissionsmonitoring mit Verwendung von NO₂-Schwellenwerten Basis für die Aktivierung von UVM-Maßnahmen ist.

Einen deutlichen Qualitätssprung bringt hier die Integration bzw. Fusionierung einer FCD-basierten Fahrzeitermittlung (z. B. TomTom-Ereignisdaten) mit der modellbasierten und detektorgestützten Verkehrslagegenerierung, da die Vorteile beider Systeme bestmöglich vereint werden, was einer möglichst präzisen Ermittlung der verkehrlichen Emissionen zu Gute kommt.

5.2.3 Potsdam

Die lokalen Messstellen sind in den Hotspots derartig positioniert, dass sie einen für den jeweiligen Streckenabschnitt repräsentativen LOS-Wert liefern können. (s. Kap. 4.2.2). Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit einer permanenten Prüfung der Parametrierung. So können verkehrsorganisatorische Veränderungen zu einer deutlichen Verschlechterung in der Interpretation der Verkehrsdaten führen. In der Behlertstraße wurde bspw. im 2. Quartal 2014 Tempo 30 angeordnet. Abbildung 5-5 zeigt die Daten vor und nach Einführung und nach Einführung von Tempo 30 in einem Fundamentaldiagramm und die LOS-Parametrierung für Tempo 50. Deutlich wird die Gefahr einer Fehlinterpretation. Dies gilt es durch eine permanente Prüfung auf Plausibilität zu verhindern.

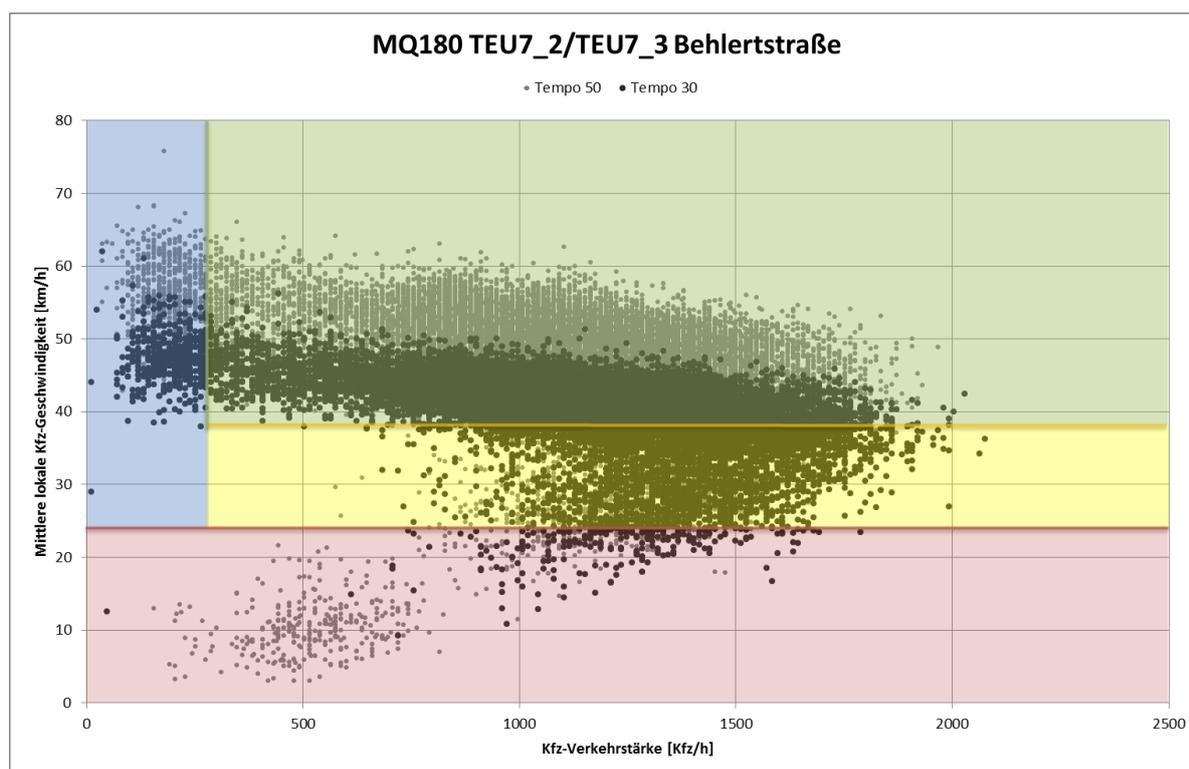


Abbildung 5-5: Fundamentaldiagramm Behlertstraße vor und nach Einführung Tempo 30

Der LOS wird in Potsdam nahezu lückenlos in zeitlich hoher Auflösung (5 Minuten) abgeleitet und in Verbindung mit den erfassten Verkehrsstärkewerten zu Anteilen der Verkehrsstärke an den vier LOS-Stufen nach HBEFA verarbeitet. Dies bedeutet, dass nicht ein LOS-Wert für das gesamte 30-Minuten-Intervall unterstellt wird, sondern dass eine Verteilung berechnet wird.

5.2.4 Wittenberg

Die Vorhersagen des PM10-Tagesmittelwertes, welche im UVM als Auslöseschwellen verwendet werden, erfolgen über das Umweltmodul ProFet. Dieses ist ein statistisches Modell. Die im Modell verarbeiteten Eingangsdaten sind in Tabelle 5-3 der Anlage 2 aufgeführt. Die LOS-Anteile sind keine direkten Eingangsgrößen. Die Kenntnis der LOS-Anteile hat somit bei ProFet keinen Einfluss auf die Vorhersagegenauigkeit und damit auch nicht auf die Wirksamkeit des UVM in Wittenberg.

5.3 Meteorologie (Wind, Regen, Inversion)

Meteorologische Eingangsgrößen sind neben den verkehrlichen Kennwerten zentrale Eingangsgrößen bei der Bestimmung der Immissionen. Zu unterscheiden sind hierbei meteorologische Kennwerte bei der klassischen Ausbreitungsmodellierung (z. B. mittels IMMIS, PROKAS o.ä.) im Vergleich zu statistischen Vorhersagemodellen.

5.3.1 Ausbreitungsmodelle

Die Immissionsberechnung erfolgt hierbei i.A. auf Basis von Stundenmitteln der Parameter Windrichtung und Windgeschwindigkeit und, je nach Berechnungsmethode, zusätzlicher Schichtungsparameter wie den Stabilitätsklassen nach Klug/Manier (siehe z. B. VDI 3782 Blatt 1, KRdL (2016)).

Die meteorologischen Daten können auf Messungen oder Berechnungen (synthetisch erzeugte Winddaten) beruhen. Für das Modellgebiet werden räumlich repräsentative meteorologische Daten für die Immissionsberechnung benötigt. Bei Verwendung gemessener meteorologischer Daten sollten diese den Anforderungen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) oder der entsprechenden VDI-Richtlinien (z. B. VDI 3786 Blatt 2, KRdL (2000)) genügen.

Es sind die Randbedingungen zur Verwendung meteorologischer Daten, die in der TA Luft, Anhang 3, Abschnitt 8.1 oder in der Richtlinie VDI 3783 Blatt 13 (KRdL, 2010) sowie Blatt 14 (KRdL, 2013) aufgeführt sind, zu beachten. Ist der zu untersuchende Straßenabschnitt bei der Immissionsberechnung in der lokalen Skala von weiterer Bebauung umgeben, und sollen mittels eines geeigneten Windfeldmodells im Detailverfahren die Strömungsverhältnisse im Modellgebiet modelliert werden, so werden meteorologische Daten benötigt, die repräsentativ für einen (in Bezug auf die Gebäudeeinflüsse) ungestörten Messort über Dachniveau sind. Die Strömungssituation innerhalb eines Straßenraums mit Randbebauung (im Extremfall bei einer Straßenschlucht) kann davon erheblich abweichen. Diese Änderung muss durch die verwendete Berechnungsmethode adäquat abgebildet werden.

5.3.2 Statistische Vorhersagemodelle

Aus verschiedenen Untersuchungen (z. B. Anke et al., 2002; Lohmeyer, 2006; Hoffmann, 2007) ist bekannt, dass die Meteorologie insbesondere bei der kurzfristigen Variation der PM10-Konzentrationen eine entscheidende Rolle spielt.

Basierend auf dem PM10-Niveau des Vortages und des aktuellen Tages wurde deshalb im Rahmen der ProFet-Modellentwicklungen die unmittelbare und längerfristige Wirkung der folgenden meteorologischen Einflussfaktoren

- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung

- Inversion
- Temperatur
- relative Feuchte
- Niederschlag
- Strahlung
- Luftdruck

analysiert und für die Nutzung im Prognosemodell (u.a. für UVM Wittenberg) bewertet. Dabei musste auch berücksichtigt werden, welche Prognosedaten mit welcher Repräsentativität vom DWD (oder von anderen Anbietern meteorologischer Mess- und Vorhersagedaten) im operationellen Betrieb zur Verfügung gestellt werden können.

Die bei der ProFet-Modellentwicklung durchgeführten Datenanalysen zeigten, dass folgende meteorologischen Größen mit den PM10-Tagesmittelwerten an den verkehrsbeeinflussten Messstellen korreliert sind:

- • Die maximal mögliche Sonnenscheindauer. Relevant für die Einteilung in Sommer- und Winterhalbjahr
- • Die Windrichtung
- • Die Windgeschwindigkeit
- • Temperaturinversionen und ihre Andauer
- • Tägliche Niederschlagsmengen größer 0.1 mm
- • Die Andauer von Trockenperioden. Hier zeigten sich auch Unterschiede zwischen Sommer- und Winterhalbjahr
- • Die Temperaturen (Tmin, Tmax, Tagesmitteltemperaturen)

ProFet berücksichtigt dabei die folgenden meteorologischen Kennwerte:

Windgeschwindigkeit	WG	m/s
Tagesminimumtemperatur	Tmin	°C
Tagesmaximumtemperatur	Tmax	°C
Tagesmitteltemperatur	Tmittel	°C
Hauptwindrichtungsklasse	HWR_KL	-
Klasse der Anzahl trockener Tage nach letztem Niederschlagsereignis	Na_NS_KL	-
Windgeschwindigkeitsmaximum am Vortag	WG_max_VT	m/s
Kennung für einen Tag mit Inversion (0 = keine Inversion, 1 = Inversion)	Inversion	-
Klasse der Anzahl der Tage mit anhaltender Inversion	Na_Inv_KL	-

Die Modellfunktionen zur Berechnung der PM10-Gesamtbelastung differieren dabei nach den folgenden 4 Betrachtungsfällen:

- Fall 1** = Winter-Werktag
- Fall 2** = Winter-Wochenende
- Fall 3** = Sommer-Wochenende
- Fall 4** = Sommer-Werktag.

Es sollten im Rahmen des hier vorliegenden Projektes nicht die Sensitivitätsuntersuchungen wiederholt werden. Es sei deshalb auf die o.g. Literaturen verwiesen.

6 Anforderungen an die zeitliche Auflösung

Die Grenzwertregelungen zur Luftqualität beziehen sich immer auf ein Kalenderjahr. Die der Kontrolle zugrundeliegenden Messungen werden im jeweiligen Referenzverfahren als Stundenmittelwerte (NO₂) und als Tagesmittelwerte (PM10) erhoben. Aus Grenzwertsicht sind vor allem eine Minderung des NO₂-Jahresmittelwertes und eine Minderung der Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes die Richtgröße eines UVM.

Die Verkehrsstärke des Straßenverkehrs unterliegt je nach Wochentagen immer recht ähnlichen Ganglinien. Störungen im Verkehr können sowohl über einen Zeitraum von Stunden aber auch nur kurzzeitig auftreten. Die Möglichkeiten der Beeinflussungen durch LSA liegen im Bereich von Minuten. Typische zeitliche Auflösungen von Verkehrsmodellen variieren von Sekunden (bei Mikrosimulationsmodellen) über Minuten und Stunden bis zu einem Tag.

Auf Grund dieser verschiedenen zeitlichen Betrachtungsintervalle kommt der zeitlichen Auflösung des UVM eine besondere Bedeutung zu. Im Rahmen dieses Kapitels soll deshalb zum einen ausgeführt werden, welche Möglichkeiten der zeitlichen Auflösungen sinnvoll realisierbar sind und welche Voraussetzungen dafür vorliegen müssen.

Hierzu liegt der Fokus auf der Darstellung der zeitlichen Variation der Eingangsdaten und Klärung der Verfügbarkeiten für

- die verkehrliche Detektion,
- die Luftschadstoffmessung,
- die meteorologischen Daten und
- die Vorhersagedaten.

Zum anderen wird anhand ausgewählter Daten aus den UG Erfurt und Potsdam beispielhaft der Einfluss der zeitlichen Auflösung auf die UVM-Systeme evaluiert. Hierbei erfolgte die Aggregation vorliegender 15-Minuten-Werte (in Erfurt) bzw. 30-Minuten-Werte (in Potsdam) auf Stundenwerte. Für jeweils einen eingeschränkten Auswertzeitraum wird der Einfluss unterschiedlicher zeitlicher Auflösung auf die Prognoseergebnisse aufgezeigt.

Es wurde weiterhin geprüft, ob es Möglichkeiten von Kombinationen verschiedener zeitlicher Auflösung gibt und wie deren Wirkung auf Aktivierungsrate und Maßnahmenwirksamkeit ausfällt.

6.1 Monitoring Braunschweig

Das in Braunschweig als Kern von ViBS^{mt} eingesetzte Verkehrsmodell rechnet auf stündlicher Basis, wobei eine kleinere Zeiteinheit bedingt durch das eingesetzte makroskopische Verteilungs- und Umlegungsmodell nicht sinnvoll ist.

In Braunschweig werden die Messwerte aus der verkehrlichen Detektion von den verschiedenen Messstellen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung (minütlich bis halbstündlich) an das Verkehrsmanagementsystem geliefert. In ViBS^{mt} werden die Daten aufbereitet und auf stündliche Werte aggregiert. Grundsätzlich wären auch kleinere Zeitintervalle umsetzbar, wozu jedoch die Programmierung des Systems geändert werden müsste.

Die (Tages-)stunde stellt daher im UVM Braunschweig bereits das kleinste sinnvoll einsetzbare Zeitintervall dar. Denkbar wäre grundsätzlich eine häufigere (z. B. viertelstündliche) Berechnung von (zeitlich überlappenden) Stundenwerten und deren Zusammenfassung zu gleitenden Stundenwerten. Hierzu wären allerdings umfangreiche Änderungen an den eingesetzten technischen Systemen erforderlich, die im Rahmen dieses Projektes aus Aufwandsgründen nicht durchgeführt werden können.

6.2 Monitoring Erfurt

Eine effektive UVM-Steuerung setzt voraus, dass die Änderung der Verkehrssituation auf einem Streckenabschnitt und / oder die Änderung der Umweltsituation an einer Messstation bzw. einem modellierten umweltsensiblen Bereich zeitnah erkannt werden. Dazu zählt ein adäquates Erfassungs- bzw. Berechnungsintervall der relevanten Kenngrößen. Da sich Verkehrssituationen im Allgemeinen schneller ändern als Umweltsituationen, müssen die Verkehrsdaten auch in kleineren Zeitintervallen als die Umweltdaten zur Verfügung stehen (mindestens für die UVM-Steuerung).

Im Hinblick auf eine Minimierung der Aktivierungsrate einer UVM-Steuerung (Ziel z. B. Zuflussdosierung so viel wie nötig, um den NO₂-JMW einzuhalten) ist es hinsichtlich der Wirkung effektiv, die Spitzen hoher Verkehrs- und Umweltbelastung „zu kappen“. Ist das Erfassungs- bzw. Berechnungsintervall der Eingangsdaten zu groß, wird die Steuerung zu spät aktiviert und zu spät deaktiviert. Die mögliche / erforderliche Wirkung wird nicht erzielt bzw. um sie zu erzielen, müssen Schwellenwerte restriktiver eingestellt werden, was die Aktivierungsrate erhöht.

In der Verkehrsmanagementplattform Erfurt ist ein Strategiemanagementsystem für die Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation implementiert. Es berücksichtigt drei Maßnahmenbereiche: Parkraummanagement Innenstadt, Bedarfsumleitungen Bundesautobahnen und Umweltorientiertes Verkehrsmanagement. Die Einzelmaßnahmen zur Verkehrssteuerung an Lichtsignalanlagen und zur Verkehrsinformation an Infotafeln stehen teilweise in Konkurrenz. Je nach Situation wird entschieden, welche Verkehrsmanagementstrategie mit den zugeordneten Maßnahmen aktiviert wird. Diesen Entscheidungen liegt eine in kurzen Zeitintervallen durchgeführte Situationsermittlung (Verkehrs-, Baustellen-, Parkraum- und Umweltsituation) zugrunde. Der Wert einer Situationsvariablen (z. B. gestört / ungestört) kann sich minimal im Zeitintervall der Eingangsdaten ändern. Zu jedem Zeitpunkt gibt es jedoch gültige Werte für alle Situationsvariablen.

Technisch erfolgt die Ermittlung aller Situationsvariablen in 1-min-Intervallen. Inhaltlich erfolgen Änderungen an Verkehrssituationen in 5-min-Intervallen (Berechnungsintervall des Verkehrslagesystems), Änderungen an Umweltsituationen in 60-min-Intervallen (Bereitstellungsintervall der Umweltdaten).

Da sich häufige Signalprogrammwechsel an LSA negativ auf die Koordinierung und einen stetigen Verkehrsfluss auswirken wurden zusätzliche Parameter für den Maßnahmenwechsel definiert. Maßnahmen zur Verkehrssteuerung (Bedarfsumleitung, Zuflussdosierung) erfordern zur Aktivierung mindestens 5 gleiche Tendenzen in der Situationsermittlung und haben eine Sperrzeit von 10 Minuten. Maßnahmen zur Verkehrsinformation (Bildwechsel an Infotafeln) erfordern zur Aktivierung mindestens 3 gleiche Tendenzen in der Situationsermittlung und haben eine Sperrzeit von 5 Minuten.

Das Bereitstellungsintervall für die Verkehrsdaten als halbe Sperrzeit für Maßnahmen zur Verkehrssteuerung an LSA ist somit ausreichend. Ein kleineres Intervall würde die Steuerung nicht verändern, ein größeres Intervall die Reaktionszeit leicht verlängern.

Das Bereitstellungsintervall für die Umweltdaten ist mit 60 Minuten nicht optimal. Die Daten stehen zudem derzeit erst mit einer Verzögerung von 20 min nach Ende des Erfassungsintervalls zur Verfügung, womit ohne Umweltmodul und Prognose die Daten erst ca. 55 Minuten verspätet (bezogen auf die Mitte des Erfassungsintervalls) zur Aktivierung bzw. Deaktivierung einer Maßnahme führen können. Im Zuge der dritten Ausbaustufe des UVM Erfurt sind daher in 2018 die Integration eines Umweltmoduls zum Emissions- und Immissionsmonitoring und die Reduktion des Bereitstellungsintervalls für die Umweltdaten auf ein max. 30-min-Intervall vorgesehen

6.3 Monitoring Potsdam

6.3.1 Verkehrsdaten

In der UVS Potsdam werden gegenwärtig keine verkehrlichen Modelldaten verwendet. Die Steuerung basiert ausschließlich auf den aktuell gemessenen Verkehrsdaten der jeweils zurückliegenden 30 Minuten.

Der gesamte Prozess zwischen der Datenerhebung und der Auslösung der Umweltschaltung wird maßgebend beeinflusst durch die Verfügbarkeit der Messdaten. In Potsdam wurde ein Verfahren gewählt, bei dem die Verkehrsdaten halbstündlich zur Verfügung stehen. Das 30-Minuten-Intervall entspricht darüber hinaus dem Intervall, in dem aus den Umwelt-Messstationen die erforderlichen Daten zur Berechnung der Hintergrundbelastung zur Verfügung stehen.

Nach Vorliegen der verkehrlichen Eingangsdaten für die Emissionsmodellierung vergehen ca. 6 Minuten bis zur LSA-Schaltung.

In Anlage 1 sind im Kap. 2.4.4 die Auslösekriterien für die Strategien der LSA-Schaltung und die Verkehrsinformation zur Luftschadstoffbelastung und Verkehrslage dargestellt. Unabhängig vom Schwellenwert der Luftschadstoffbelastung wird in Potsdam parallel die Verkehrsqualität Stau als Kriterium für die Auslösung der umweltorientierten Steuerung herangezogen. Damit kann bereits bei hohen Verkehrsstärken und schlechter Verkehrsqualität unabhängig von der Luftschadstoffbelastung steuernd eingegriffen werden. Die Verkehrsdaten stehen in einem 5-Minuten-Intervall zur Verfügung.

Damit werden in Potsdam ein Kriterium Luftschadstoffbelastung und ein Kriterium Verkehrsqualität parallel zur Schaltung einer umweltorientierten LSA-Schaltung herangezogen.

Die Ableitung der für die Emissionsmodellierung erforderlichen Verkehrsdaten basiert grundsätzlich auf 5-Minutenintervallen. Diese können beliebig aggregiert werden. Insofern ist hinsichtlich der Verkehrsdaten eine sehr hohe Flexibilität gegeben.

Das Zeitintervall muss jedoch auch groß genug gewählt werden, um Interferenzen mit der zyklischen LSA-Steuerung zu vermeiden. Dies würde zu häufigen Auslösungen und Aufhebungen der UVM-Steuerung führen. Ein 30-Minuten-Intervall stellt somit auch einen guten Kompromiss zwischen der Forderung nach Aktualität und der Vermeidung dieser Interferenzen dar.

6.3.2 Modellevaluierung

In Potsdam werden im laufenden Monitoringbetrieb halbstündlich Modellierungen durchgeführt. Aufgrund der Archivierung aller Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse in der UVS Potsdam ist eine Aggregation dieser Halbstundendaten auf verschiedene Zeitintervalle möglich. Um den Einfluss der zeitlichen Auflösung auf die Modellgüte hin zu untersuchen, wurden für das Jahr 2014 die Eingangsdaten zum Verkehr, zur Meteorologie und zu den Luftschadstoffmessungen auf Stundenwerte aggregiert und die Modellierung wiederholt durchgeführt.

In Tabelle 6-1 und Tabelle 6-2 sind die modellierten Jahresmittelwerte für NO₂ und NO_x auf der Basis von Halbstundenwerten und auf der Basis von Stundenwerten aufgelistet. Wie zu erwarten sind die Unterschiede bei verschiedener Mittelung nur gering. Mit einer höheren zeitlichen Auflösung ist die Abweichung zwischen Modell- und Messwert sowohl bei NO₂ wie auch bei NO_x etwas geringer als bei den Stundenwerten.

Tabelle 6-1: Modellierte NO₂- und NO_x-Jahresmittelwerte an den Hotspots im Vergleich mit Messwerten auf der Basis von Halbstundenwerten

Halbstunden	JMW NO ₂ [µg/m ³]			JMW NO _x [µg/m ³]		
	Hotspot	Modell	Messung	rel. Abweichung	Modell	Messung
Großbeerenstr.	34.2	38.7	-11.7%	69.4	93.1	-25.5%
Zeppelinstr.	36.0	41.1	-12.4%	74.1	99.3	-25.4%

Tabelle 6-2: Modellierte NO₂- und NO_x-Jahresmittelwerte an den Hotspots im Vergleich mit Messwerten auf der Basis von Stundenwerten

Stunden	JMW NO ₂ [µg/m ³]			JMW NO _x [µg/m ³]		
	Hotspot	Modell	Messung	rel. Abweichung	Modell	Messung
Großbeerenstr.	34.1	38.7	-11.8%	69.2	93.4	-25.8%
Zeppelinstr.	35.9	41.1	-12.7%	73.9	99.4	-25.7%

In Abbildung 6-1 sind die modellierten NO₂-Halbstunde bzw. Stundenwerte den entsprechenden Messwerten in Form eines Streudiagramms gegenübergestellt. In Abbildung 6-2 findet sich die gleiche Gegenüberstellung für NO_x-Immissionen. Es ist deutlich zu erkennen, dass mit einer höheren zeitlichen Auflösung auch eine stärkere Streuung der Wertepaare einhergeht. Dementsprechend steigt der Erklärungswert R² mit einer zeitlichen Aggregation auf Stundenwerte bei NO₂ von 63.6 % auf 66.8 % und bei NO_x von 69.7 % auf 73.2 % an.

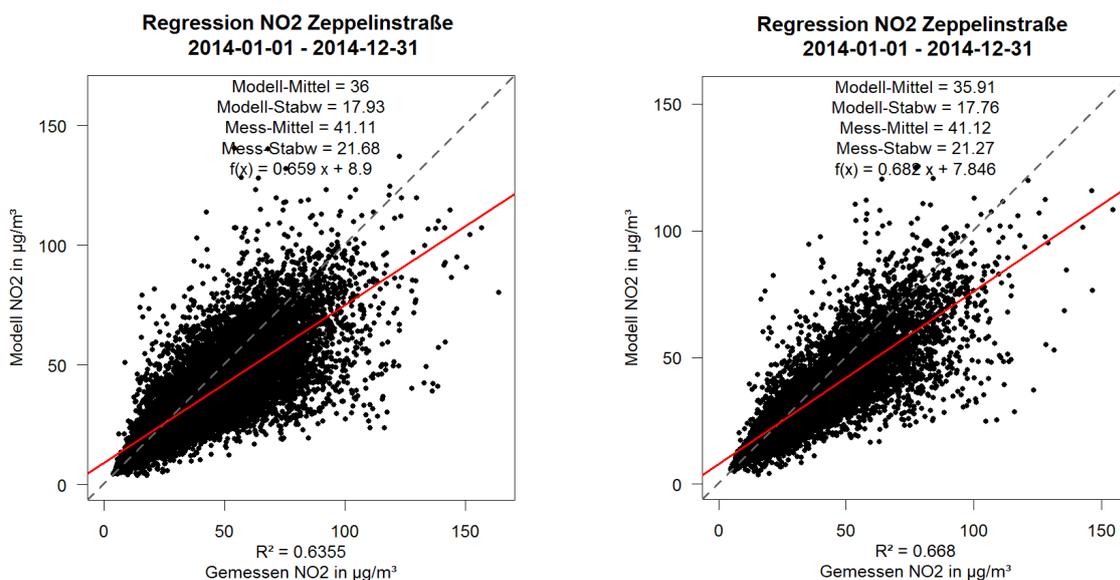


Abbildung 6-1: Streudiagramm der gemessenen und modellierten NO₂-Immissionen, links als Halbstundenwerte, rechts als Stundenwerte

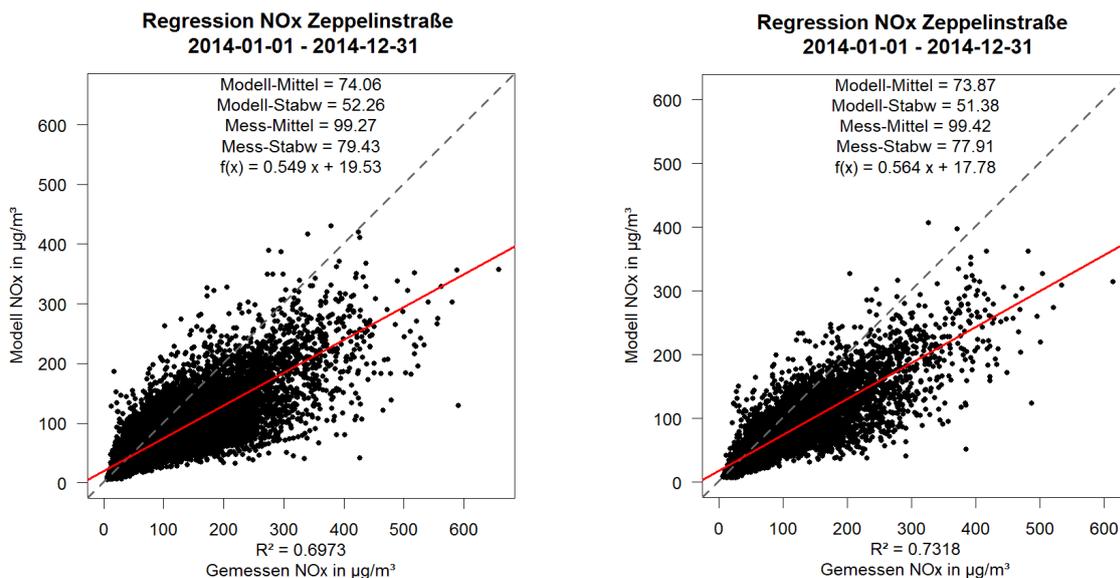


Abbildung 6-2: Streudiagramm der gemessenen und modellierten NO_x-Immissionen, links als Halbstundenwerte, rechts als Stundenwerte

6.3.3 Schwellenwertanalyse

Die Ergebnisse der Modellierung auf Basis von Stundenwerten aus Kapitel 6.3.2 wurden verwendet, um analog zu Kapitel 3.3.1 eine Schwellenwertanalyse für den Hotspot Behlertstraße durchzuführen. Für diese Schwellenwertanalyse wurden dieselben verkehrsstärkenbedingten Minderungswirkungen (Tabelle 3-11) verwendet, wie bei der Schwellenwertanalyse basierend auf den Halbstundendaten.

Tabelle 6-3 zeigt die Aktivierungshäufigkeiten und Minderungswirkung bei Variation des NO₂-Schwellenwerts in der Variante ohne Alternativrouten. Im Vergleich zur Minderung

durch die geschalteten Maßnahmen basierend auf den Halbstundendaten (Tabelle 3-12) zeigt sich für alle Schwellenwerte nahezu die gleiche Minderung. Bei Verwendung von Stundenwerten muss (zumindest für Schwellenwerte $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) die Maßnahme etwas häufiger aktiviert werden um die gleiche Minderung zu erzielen als bei den Halbstundendaten. Bei höheren Schwellenwerten von $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gibt es keine Unterschiede bei Aktivierungshäufigkeit und Minderung.

Tabelle 6-3: Vergleich der Minderungswirkung bei Variation des Schwellenwerts für NO₂ in der Variante ohne Alternativrouten bei Aggregation auf Stundenwerte (ganztägig, instantan)

Schwellenwert NO ₂ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Aktivierung		Minderung	
	Anzahl (h/Jahr)	Anteil	Absolut in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Relativ
40	3267	38.6%	-0.6	-1.7%
50	2011	23.7%	-0.5	-1.3%
60	1232	14.5%	-0.4	-0.9%
70	688	8.1%	-0.2	-0.6%
80	345	4.1%	-0.1	-0.4%
90	183	2.2%	-0.1	-0.2%
100	84	1.0%	0.0	-0.1%

6.4 Vorhersage Wittenberg

Im statistischen Modell ProFet werden Vorhersagen für PM10-Tagesmittelwerte berechnet. Die Zeitbasis Tagesmittelwert ergibt sich aus der Beurteilungsgröße zur Beurteilung der PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen.

Die Modellfunktionen wurden dabei aus statistischen Korrelationsanalysen des PM10-Tagesmittelwertes mit meteorologischen Kenngrößen (siehe Kap. 5.3.2) abgeleitet, die auf Stundenmittelwerten beruhen. Die Basis „Stundenwerte“ ergibt sich aus der i.A. beim DWD und anderen Messinstituten verfügbaren zeitlichen Auflösung von Langzeit-Messdaten und auch in Bezug auf die Verfügbarkeit von Vorhersagedaten.

7 Evaluierung von Vorhersagen

Die Umweltmodule setzen auf einer Vielzahl verschiedener Eingangsparameter (Verkehrslage, Meteorologie, Hintergrundbelastung, etc.) auf. Aus Messungen stehen diese Daten immer nur für die Vergangenheit zur Verfügung. Die Entscheidung, in einem UVM eine bestimmte Maßnahme zu schalten oder zurück zu nehmen, muss jedoch für die Zukunft getroffen werden. Alle UVM-Systeme müssen daher entweder eine zeitliche „Vorhersage/Prognose“ für die nähere Zukunft oder vorgegebene Regeln zur Aktivierung von Maßnahmen beinhalten. Die Bandbreite verfügbarer System reicht von einfachen, beispielsweise Schwellenwertbasierten Regeln bis zu komplexen Prognosemodellen für die Verkehrs- und Umweltmodule.

Ziel der Vorhersagen muss es sein, die UVM-Maßnahmen zur Minimierung negativer verkehrlicher Wirkungen so selten wie möglich und gleichzeitig zur Erreichung der erforderlichen Umweltwirkungen so häufig wie nötig zu schalten.

Aus den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen und mit den Betriebserfahrungen aus den Untersuchungsgebieten wird die Vorhersagegüte der verschiedenen Vorhersage- und Prognoseansätze evaluiert und verglichen. Hierbei werden auch die Aufwände für Datenversorgung, Kalibrierung und Betrieb der Prognosemodule berücksichtigt.

7.1 Braunschweig

Um die Immissionsbelastung für die folgenden drei Stunden mit dem Monitoringsystem IMMIS^{mt} vorherzusagen, werden zunächst die Eingangsdaten der Modellierung (Verkehr, Meteorologische- und Vorbelastungsdaten) prognostiziert. Diese Eingangsdaten werden dann verwendet um analog zum Monitoringbetrieb die Immissionsbelastung für die kommenden drei Stunden zu berechnen.

Die Kurzfristprognose der Verkehrsdaten wird in Kapitel 7.1.1 beschrieben.

Auf Grund der Erhaltungsneigung der zeitlichen Entwicklung der Meteorologie und daraus folgend auch der großräumigen Vorbelastung ist für eine Kurzfristprognose von wenigen Stunden in der Regel eine Regression auf Basis der Vergangenheit der Zeitreihe (univariates Modell) ausreichend. Die Hintergrundbelastung an der Messstation Braunschweig/Broitzem (NO₂, NO_x, PM10 und O₃) sowie die meteorologischen Größen Temperatur und Windgeschwindigkeit werden mit Hilfe eines autoregressiven Modells (ARIMA) basierend auf den Zeitreihen der vergangenen 30 Tage für die folgenden 3 Stunden vorhergesagt.

Die für die Prognose-Ausbreitungsrechnung benötigten Daten zur Globalstrahlung werden berechnet aus der geographischen Breite, der Uhrzeit der Prognosestunde und dem Bedeckungsgrad. Dabei wird als Bedeckungsgrad für die Prognosestunden derselbe Wert wie bei der aktuellen Monitoring-Berechnung verwendet.

Die benötigten Daten zur Windrichtung und Stabilitätsklasse werden ebenfalls nicht statistisch prognostiziert, sondern es werden die Werte der aktuellen Monitoring-Berechnung verwendet.

7.1.1 Verkehr

Das Verkehrsmonitoringsystem ViBS^{mt} ermöglicht eine netzweite Kurzfristvorhersage der verkehrlichen Daten auf Basis der bis zum Berechnungszeitpunkt bereits vorliegenden Detektionsdaten des aktuellen Tages in Kombination mit historischen Messdaten.

Abbildung 7-1 zeigt für den Vorhersagequerschnitt am Altewiekring (MS 129/130) den stundenweisen Vergleich der prognostizierten Verkehrsstärke zu den später im ViBS^{mt} ermittelten Ist-Werten basierend auf den Daten des zweiten Halbjahres⁷ 2015.

Im ViBS^{mt} werden mit der Kurzfristvorhersage Vorhersagen jeweils für die aktuell laufende, die folgende und die übernächste Tagesstunde bestimmt. Der Ist-Wert wird immer zu Beginn einer neuen Tagesstunde für die gerade abgelaufene Stunde berechnet. Die Entscheidung für eine evtl. Maßnahmenaktivierung in Tagesstunde x muss vor Beginn dieser Stunde getroffen werden, so dass hierzu die Vorhersagedaten für Tagesstunde x, die in der Tagesstunde x-1 ermittelt wurden, als Entscheidungsgrundlage genutzt werden sollten. Dieser Vorhersagehorizont bildete daher die Grundlage für die hier betrachteten Auswertungen.

Im zweiten Halbjahr 2015 konnten für 4 371 Stunden Ist-Werte im ViBS^{mt} ermittelt werden, was einer Verfügbarkeit von 99,0% entspricht. Für 4 322 dieser Stunden konnte vor Beginn der Tagesstunde eine gültige Kurzfristvorhersage ermittelt werden. Dies entspricht 98,9% aller Stunden mit Ist-Werten bzw. 97,9% aller Stunden des Halbjahres.

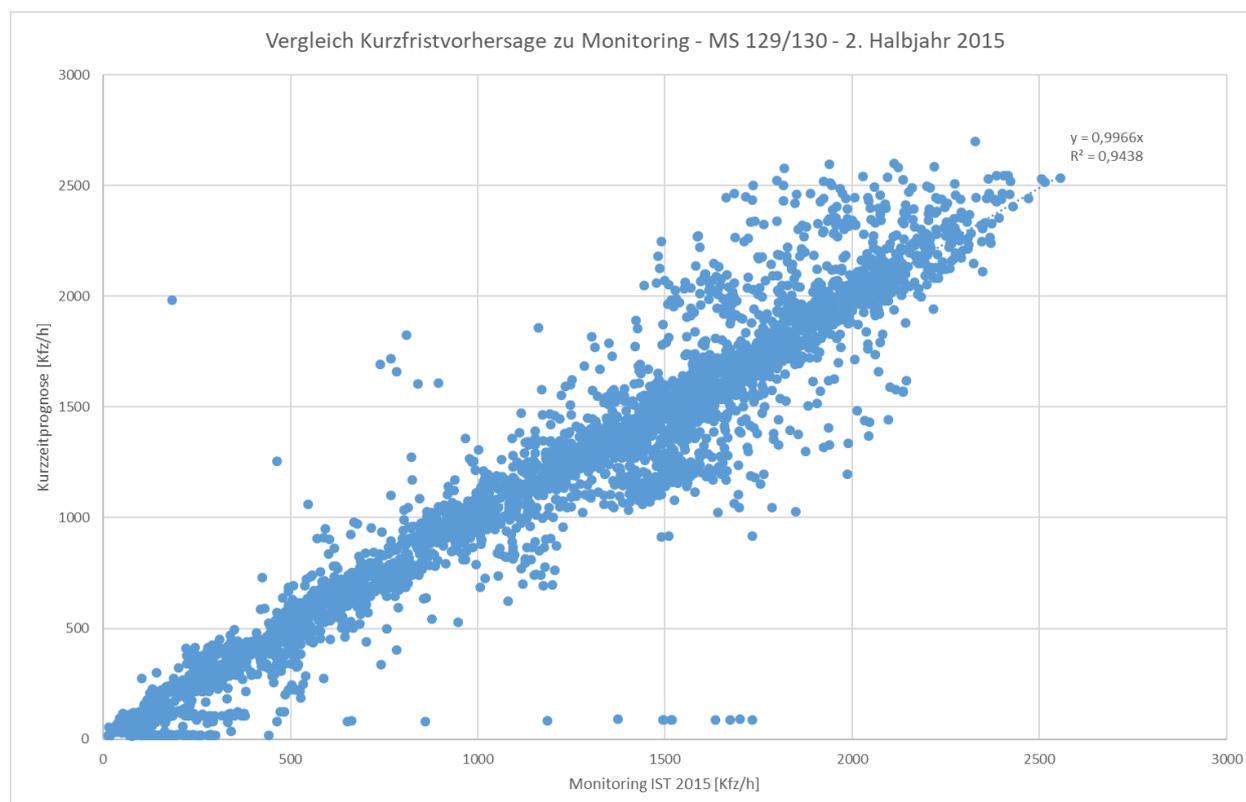


Abbildung 7-1: Stundenweiser Vergleich der Verkehrsstärke [Kfz/h] aus ViBS^{mt} Vorhersage zu Ist-Werte im zweiten Halbjahr 2015

⁷ Da sich das Vorhersagemodul im Laufe des ersten Halbjahres 2015 noch in der Entwicklung befand, stehen auswertbare Daten erst ab Juli 2015 zur Verfügung.

Die Stunden, für die keine Vorhersage jedoch ein Ist-Wert ermittelt werden konnten, liegen zumeist in der Nacht (Tagesstunden 0 bis 3) und sind daher für das UVM-System unkritisch. Im Realbetrieb können sie problemlos durch Daten aus der Mittelfristvorhersage (1 – 3 Tage) ersetzt werden.

Abbildung 7-1 zeigt, dass die Kurzfristvorhersage die späteren Monitoringergebnisse bzgl. der Verkehrsstärke im Mittel geringfügig unterschätzt, sie insgesamt aber sehr gut abbildet ($R^2 = 0.944$). Besonders gute Ergebnisse wurden an Werktagen (einschließlich Samstag) außerhalb der Schulferien erzielt. In der Ferienzeit sowie an Sonn- und Feiertagen war die Vorhersagequalität etwas schlechter.

In 2016 konnte für 8 365 Stunden vor Beginn der Tagesstunde eine gültige Kurzfristvorhersage ermittelt werden. Dies entspricht 97,4% aller Stunden mit Ist-Werten bzw. 95,5% aller Stunden des Jahres. Die Vorhersagequalität war dabei insgesamt sogar noch etwas besser als 2015 ($R^2 = 0.989$).

7.1.2 Meteorologie

Um die Immissionsbelastung für drei Stunden mit IMMIS^{mt} vorherzusagen, müssen zunächst die meteorologischen Eingangsdaten (Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Globalstrahlung, Stabilitätsklasse) für die drei Prognosestunden ermittelt werden.

Zur Evaluierung der meteorologischen Vorhersagedaten wurden diese für das Jahr 2015 jeweils für drei Prognosestunden berechnet. Daraus wurden jeweils für die 1., 2. und 3. Prognosestunde Zeitreihen gebildet, die im Folgenden mit den realen Messdaten aus dem Monitoringbetrieb verglichen werden.

Die Windrichtung und Temperatur werden mit Hilfe eines autoregressiven Statistikmodells (ARIMA) basierend auf den Zeitreihen der vergangenen 30 Tage für die folgenden 3 Stunden vorhergesagt. Am Beispiel der Jahreszeitreihe der Temperaturdaten aus dem Monitoring und der Prognoseberechnung in Abbildung 7-2 wird deutlich, dass auf dieser Datengrundlage die ersten 30 Tage des Jahres 2015 für die Evaluierung nicht verwendet werden können. Somit kann der Vergleich für maximal 8040 Stunden durchgeführt werden. Wegen fehlender Eingangsdaten konnten im Monitoringbetrieb nur für 8012 Stunden Prognosen berechnet werden.

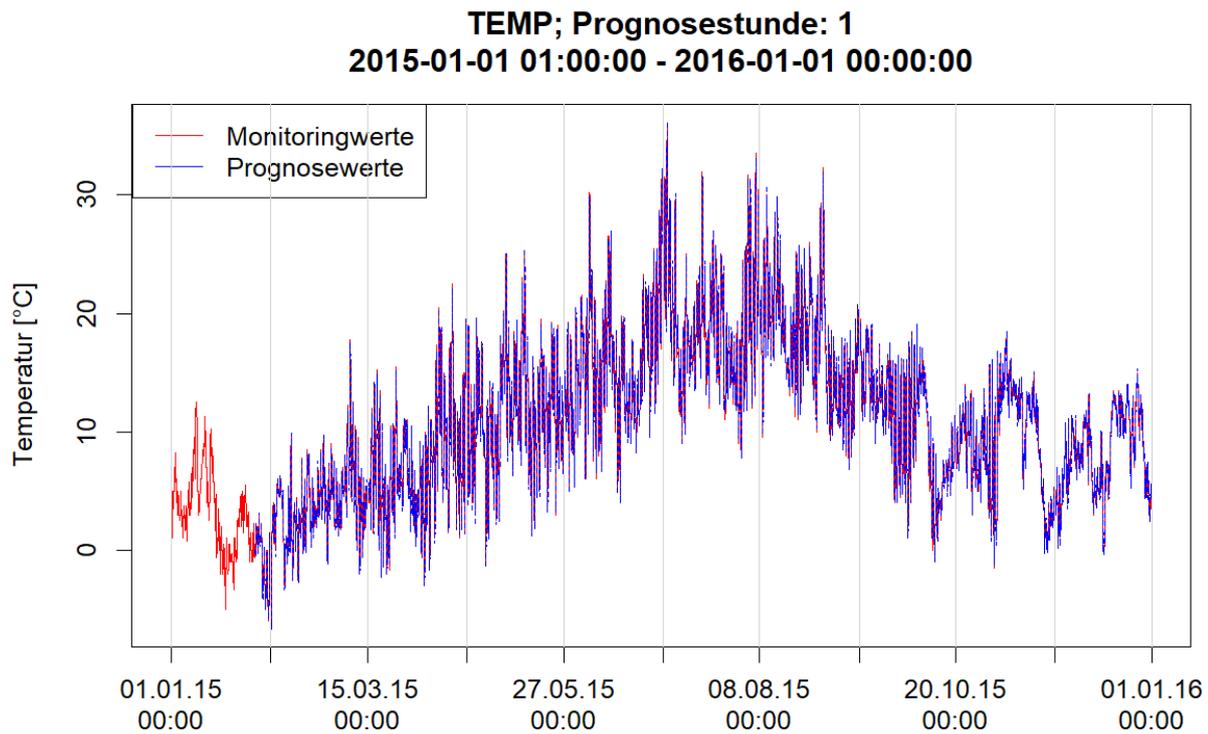


Abbildung 7-2: Zeitreihe der gemessenen Temperatur aus dem Monitoring (rot) und der Kurzfristprognose (blau) für die 1. Prognosestunde

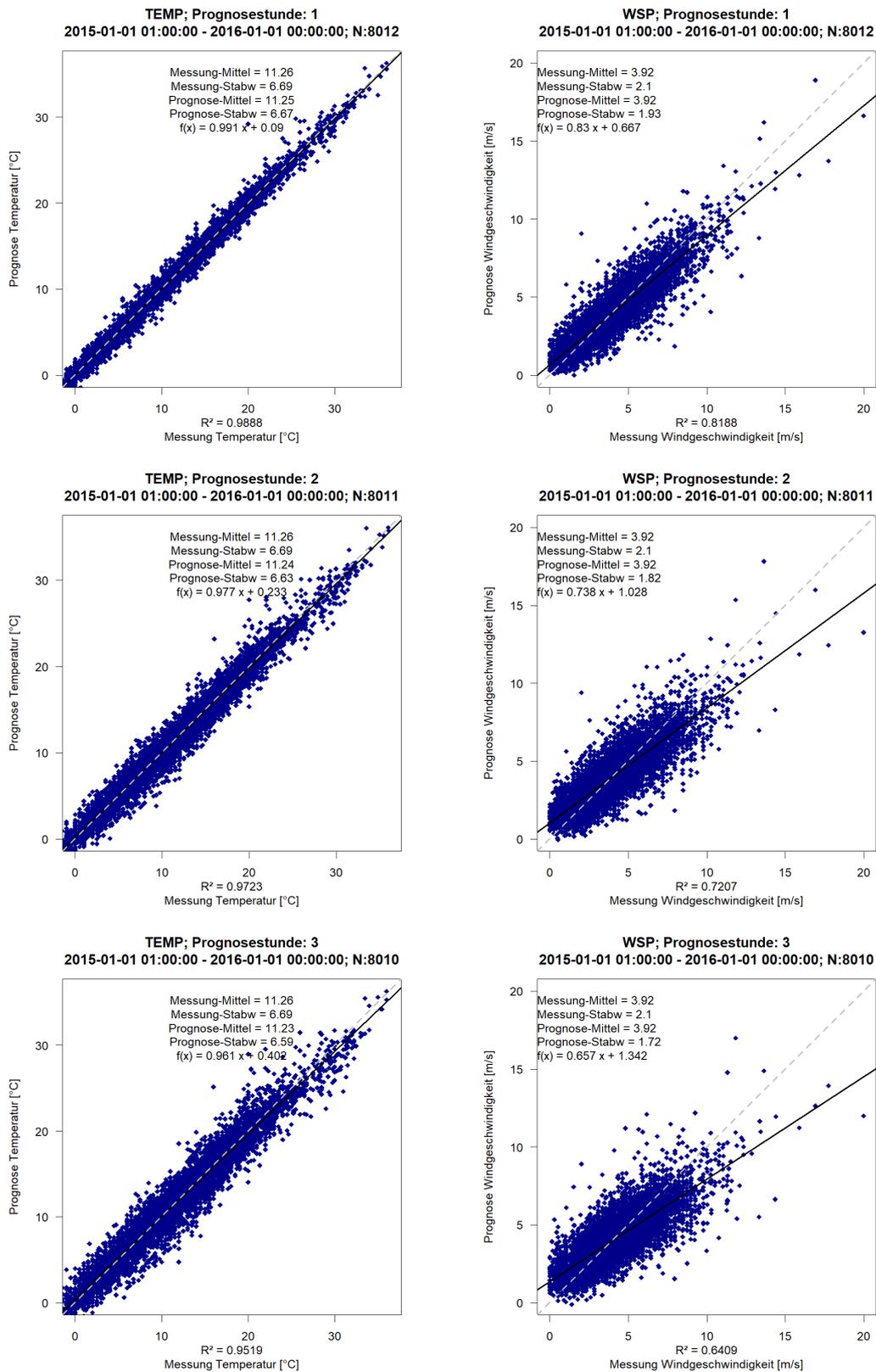


Abbildung 7-3: Streudiagramm der Temperatur (l.) und Windgeschwindigkeit (r.) aus dem Monitoring (x-Achse) und der Kurzfristprognose (y-Achse) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde

In Abbildung 7-3 sind die Daten aus der Kurzfristprognose den entsprechenden gemessenen Daten aus dem Monitoring für die Temperatur und Windgeschwindigkeit gegenübergestellt. Für die Temperatur stimmen die prognostizierten Daten mit denen aus dem Monitoring sehr gut überein. Der Erklärungswert R^2 beträgt für die 1. Prognosestunde 99 %.

Die Streudiagramme zeigen für die Windgeschwindigkeit eine größere Abweichung. Der Erklärungswert R^2 für die 1. Prognosestunde ist mit 82 % geringer als bei der Temperatur aber immer noch sehr hoch. In den Grafiken ist ebenfalls die Veränderung der Prognosegüte von der 1. bis zur 3. Prognosestunde erkennbar. Für beide Größen weitet sich die Punktwolke des Streudiagramms mit zunehmender Prognosestunde auf und der Erklärungswert fällt. Bei der Temperatur sinkt er dabei nur leicht von 99 % für die 1. Prognosestunde auf 95 % für die 3. Prognosestunde. Bei der Windgeschwindigkeit sinkt er stärker von 82 % für die 1. Prognosestunde auf 64 % für die 3. Prognosestunde.

Die Globalstrahlung wird für die Immissionsprognose nicht mit Hilfe eines autoregressiven Modells vorhergesagt, sondern aus der geographischen Breite, der Uhrzeit der Prognosestunde und dem Bedeckungsgrad berechnet. Dabei wird der Bedeckungsgrad für die Prognosestunden als gleichbleibend zur aktuellen Stunde angenommen. In Abbildung 7-4 sind die Daten aus der Kurzfristprognose den entsprechenden Messdaten aus dem Monitoring gegenübergestellt. Die Streudiagramme für die 1. bis 3. Prognosestunde zeigen, dass diese Vorhersagemethode die Globalstrahlung sehr gut prognostiziert. Der Erklärungswert R^2 liegt für die 1. Prognosestunde bei 96 % und für die 3. Prognosestunde immer noch bei 93 %.

Die für die Immissionsprognose benötigten Daten zur Windrichtung und Stabilitätsklasse werden ebenfalls nicht statistisch vorhergesagt, sondern es werden die Werte der aktuellen Stunde unverändert übernommen. In den Streudiagrammen in Abbildung 7-5 sind die für die 1., 2. und 3. Prognosestunde verwendeten Windrichtungen den entsprechenden gemessenen Windrichtungen aus dem Monitoring gegenübergestellt. Bei der Interpretation der Streudiagramme der Windrichtung ist zu berücksichtigen, dass die Windrichtung eine zirkulare Größe ist. Daher liegt ein Punkt für den im Monitoring die Windrichtung 355° verwendet wurde, aber für die Prognose die Windrichtung 5° ermittelt wurde im Streudiagramm sehr weit entfernt von der Winkelhalbierenden, obwohl die Abweichung von 10° eher gering ist.

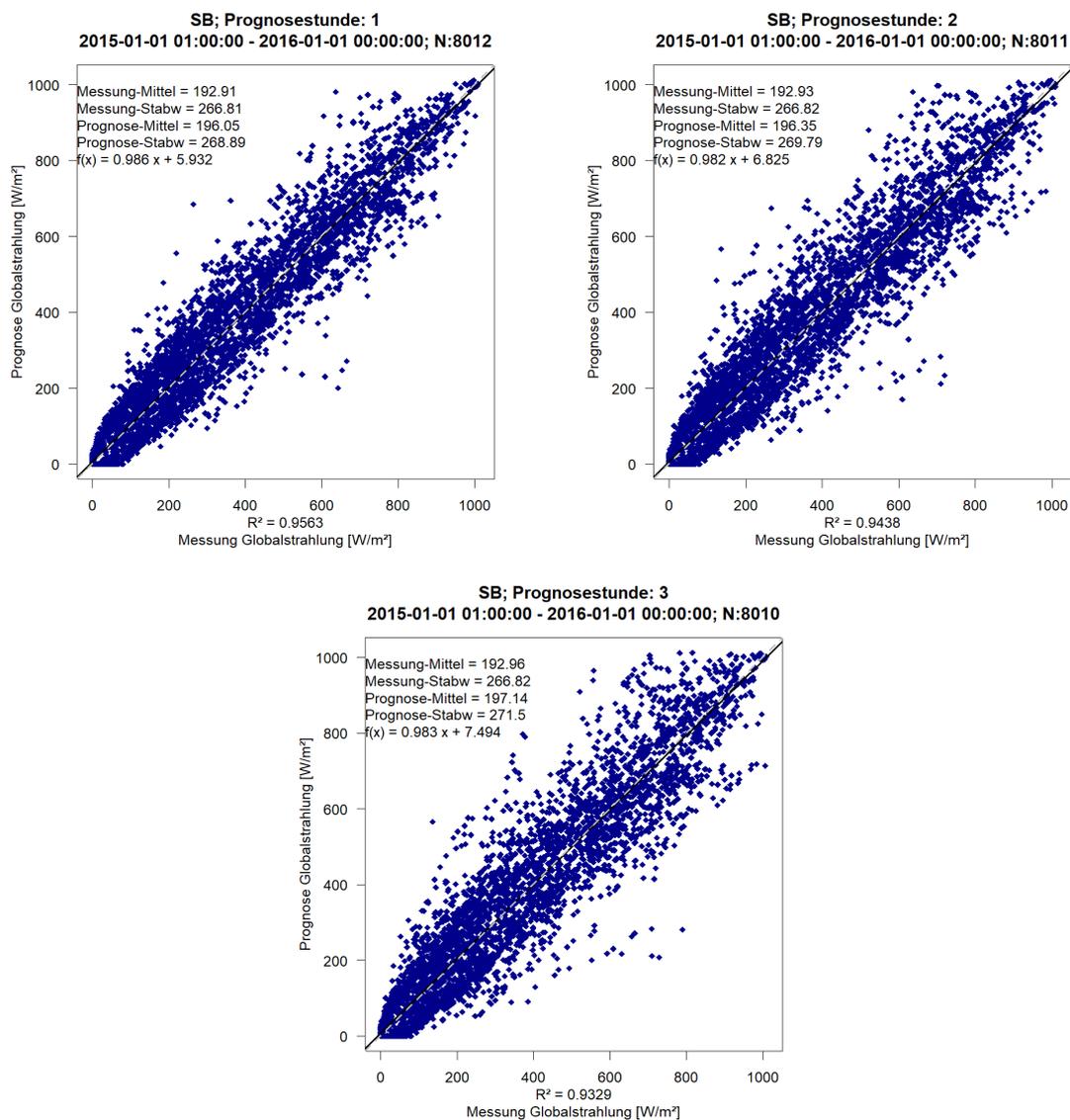


Abbildung 7-4: Streudiagramm der Globalstrahlung aus dem Monitoring (x-Achse) und der Kurzfristprognose (y-Achse) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde

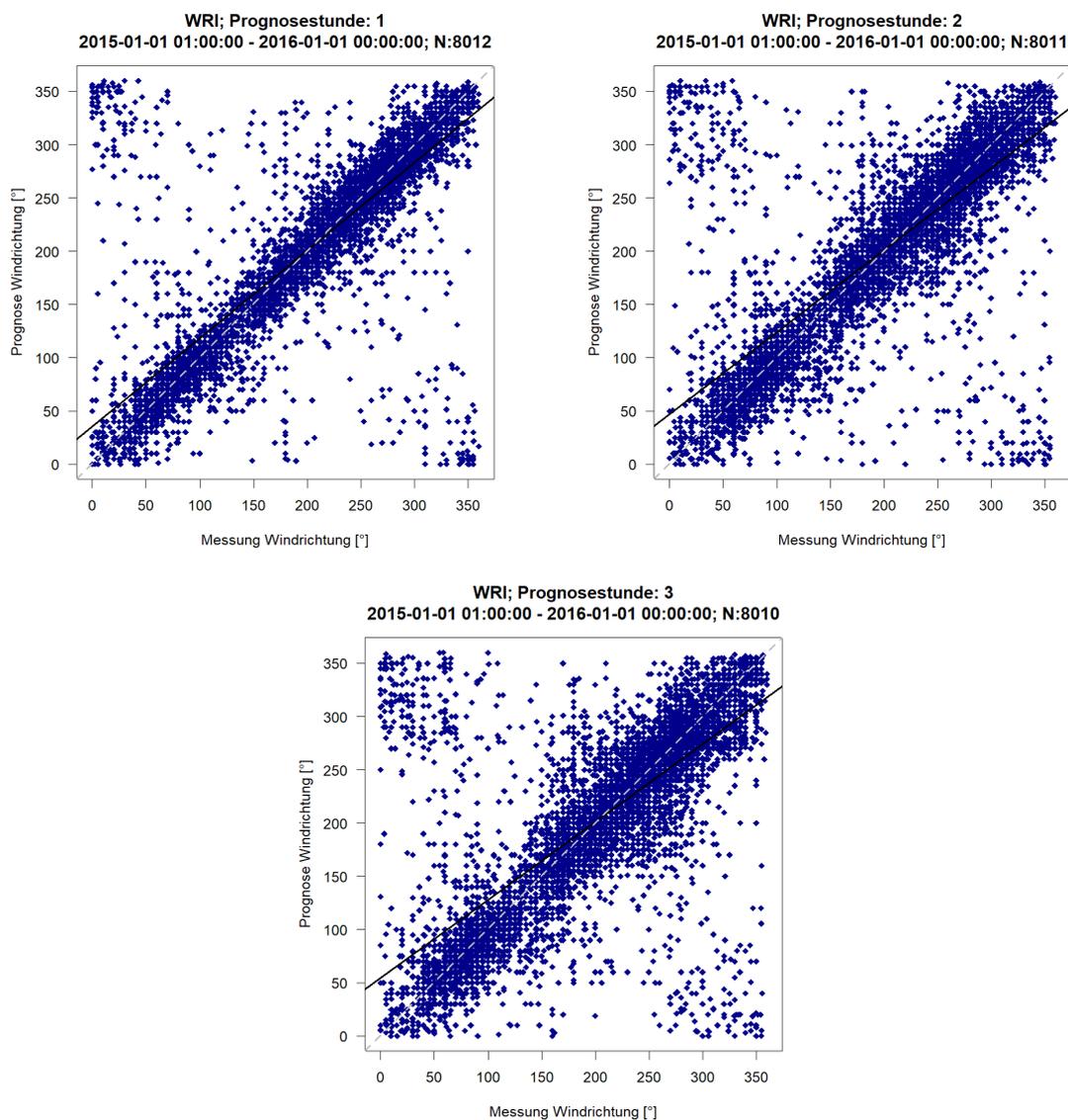


Abbildung 7-5: Streudiagramm der Windrichtung aus dem Monitoring (x-Achse) und der Kurzfristprognose (y-Achse) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde

7.1.3 Vorhersage der Hintergrundbelastung

Um die Immissionsbelastung für die folgenden drei Stunden mit IMMIS^{mt} zu modellieren, muss neben den meteorologischen Eingangsdaten (siehe Kapitel 7.1.2) auch die Hintergrundbelastung (NO_x, NO₂, PM10 und O₃) an der Station Braunschweig/Broitzern (BSW) vorhergesagt werden.

Für jede Stunde des Jahres 2015 wurden mit Hilfe eines autoregressiven Statistikmodells (ARIMA) basierend auf den Zeitreihen der vergangenen 30 Tage für die folgenden 3 Stunden die Hintergrundbelastung (NO_x, NO₂, PM10 und O₃) vorhergesagt. Zur Evaluierung dieser Daten wurden daraus, wie in Kapitel 7.1.2 analog zu den meteorologischen Prognosedaten, jeweils für die 1., 2. und 3. Prognosestunde Zeitreihen gebildet, die im Folgenden mit den gemessenen Daten verglichen werden. Da die statistische

Prognose einen Vorlauf von 30 Tagen benötigt, können auch hier für die Auswertung nur Daten ab dem 31.01.2015 verwendet werden.

In Abbildung 7-6 sind die für die 1. Prognosestunde berechneten Hintergrundbelastungen den an der Hintergrundstation Braunschweig/Broitzem gemessenen Daten als Streudiagramm gegenübergestellt. Für PM10 und O₃ zeigen diese eine hohe Übereinstimmung von prognostizierten und gemessenen Werten. Auch der Erklärungswert R² ist mit 94 % für PM10 bzw. 95 % für O₃ nahezu 1. Für NO_x und NO₂ zeigen die Streudiagramme und Erklärungswerte R² von 81 % bei NO_x und 83 % bei NO₂ etwas größere Abweichungen zwischen den Prognose- und Messdaten.

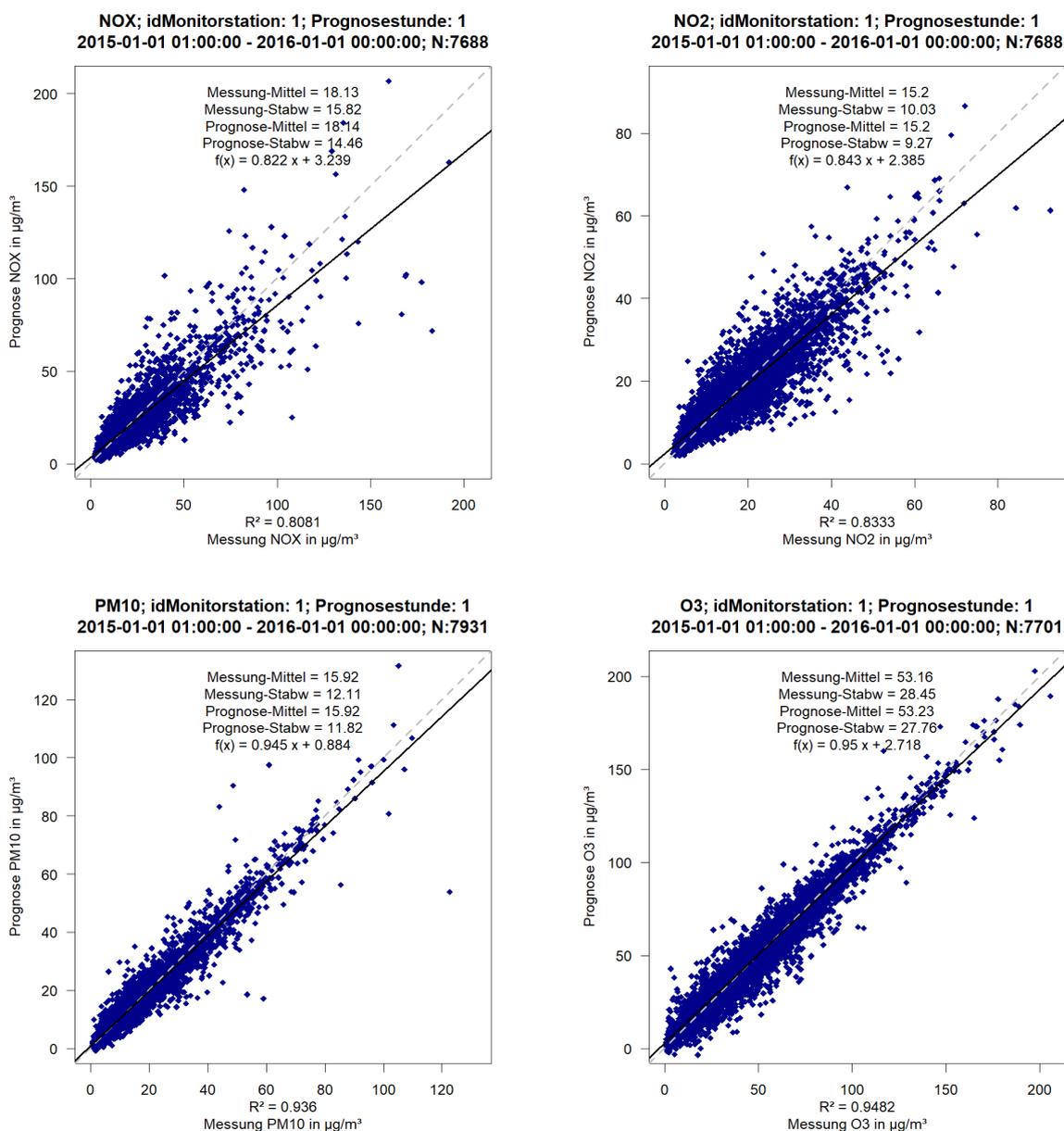


Abbildung 7-6: Streudiagramm der für die Station Braunschweig/Broitzem (BSW) prognostizierten Hintergrundbelastung (NO_x, NO₂, PM10 und O₃) und Messdaten am Beispiel der 1. Prognosestunde.

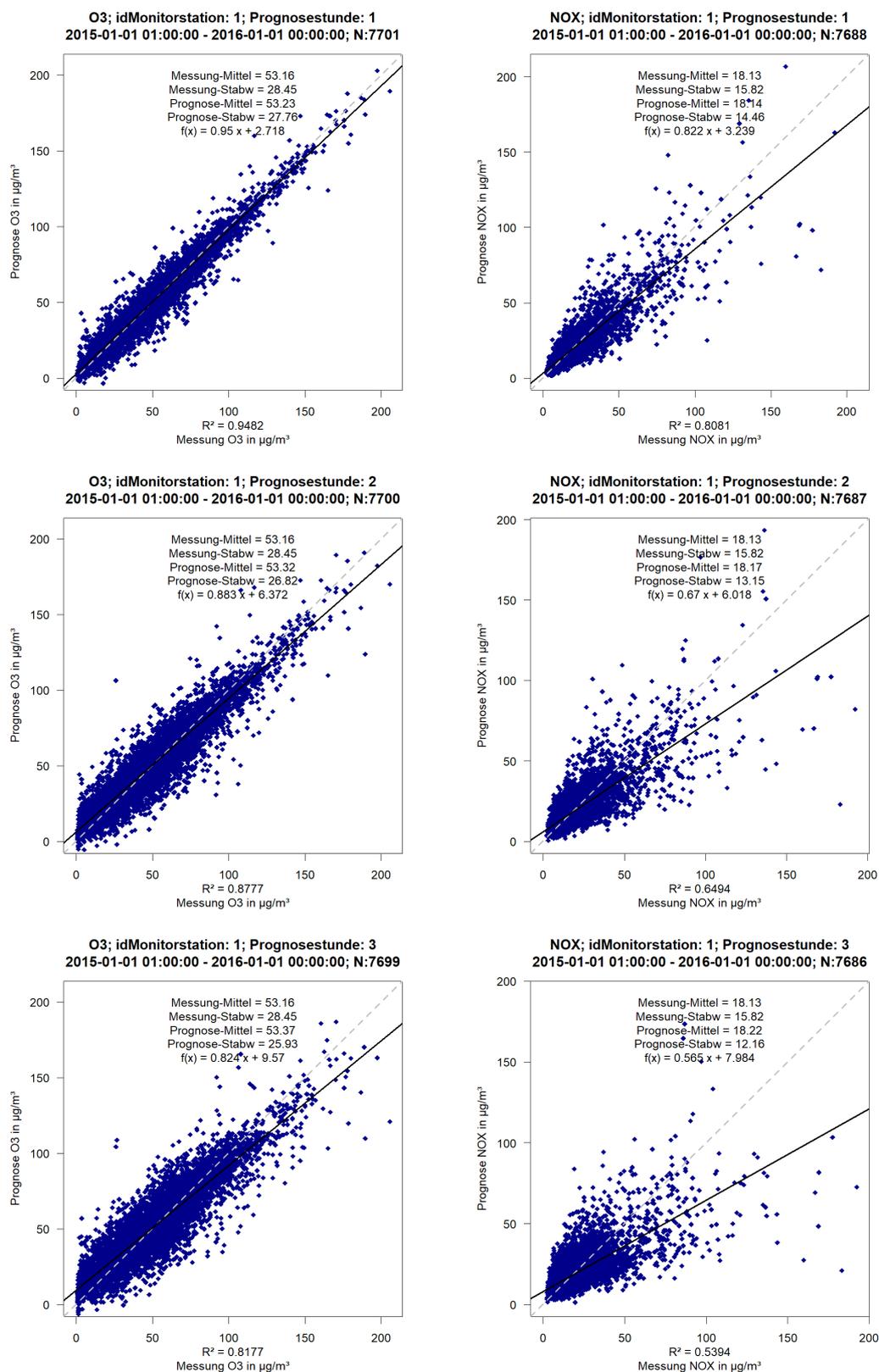


Abbildung 7-7: Streudiagramm der gemessenen und prognostizierten Hintergrundbelastung (O₃ links, NO_x rechts) für die 1., 2. und 3. Prognosestunde

Abbildung 7-7 zeigt die Veränderung der Prognosegüte von der 1. bis zur 3. Prognosestunde. Exemplarisch wurde zum einen O₃ mit einem hohen Erklärungswert und zum anderen NO_x mit einem niedrigeren Erklärungswert gewählt. Für beide Schadstoffe weitet sich die Punktwolke des Streudiagramms mit zunehmender Prognosestunde auf und der Erklärungswert wird geringer. Bei O₃ sinkt er von 95 % für die 1. Prognosestunde auf 82 % für die 3. Prognosestunde. Bei NO_x sinkt er deutlich von 81 % für die 1. Prognosestunde auf 54 % für die 3. Prognosestunde.

Abbildung 7-8 vergleicht für die beiden exemplarisch ausgewählten Stoffe O₃ und NO_x die Wochenganglinien der prognostizierten Konzentrationsdaten mit denen der Messdaten. Dargestellt sind jeweils die Wochenganglinien, die aus den Zeitreihen der 1., 2. und 3. Prognosestunde gebildet wurden. Die prognostizierten O₃-Daten geben den Wochenverlauf der gemessenen O₃-Hintergrundbelastung für alle drei Prognosestunden gut wieder. Auch für NO_x folgt die Wochenganglinie der Prognosedaten im Wesentlichen der gemessenen Ganglinie. Es gibt jedoch stärkere Abweichungen als bei O₃, insbesondere bei den Maxima und Minima sowie am Wochenende.

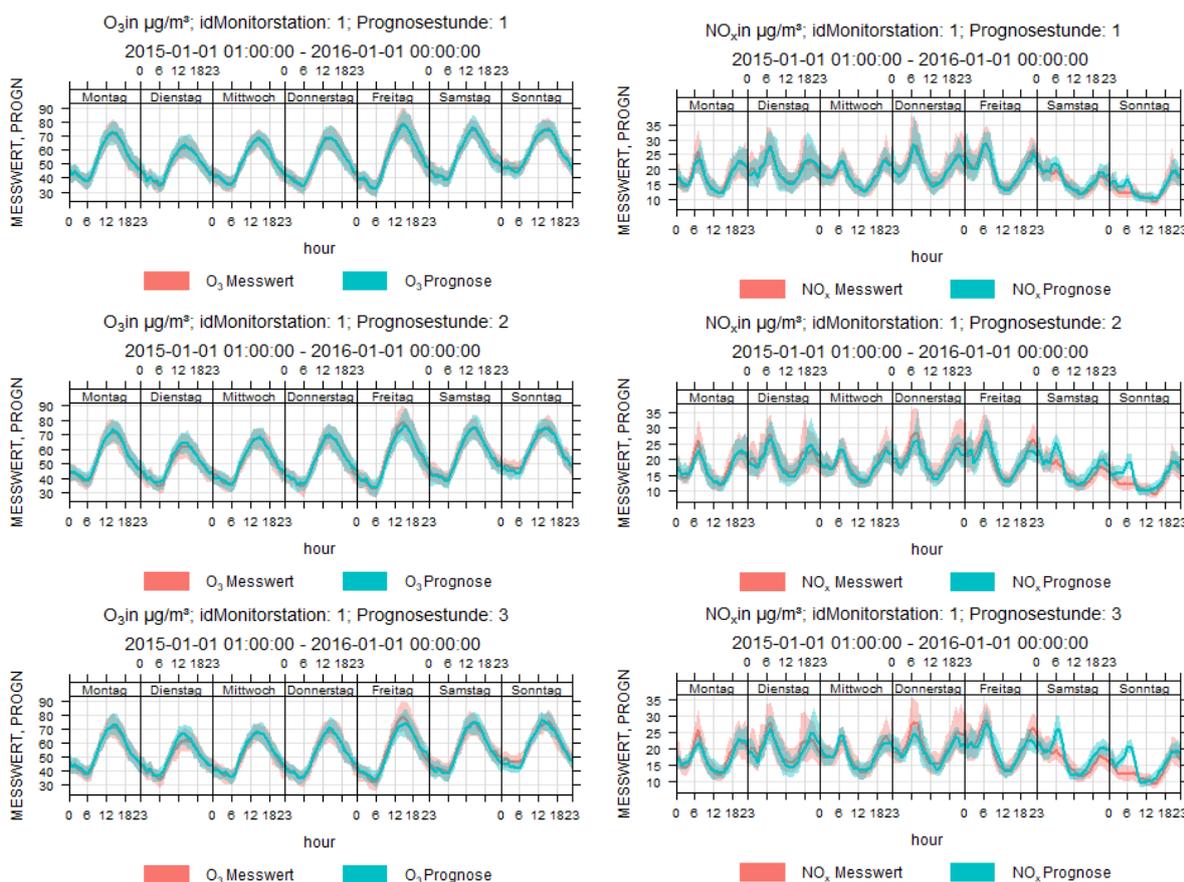


Abbildung 7-8: Wochenganglinien für O₃ (links) & NO_x (rechts) für 1.-3. Prognosestunde

7.1.4 Vorhersagedaten für Immissionsbelastung im Hotspot

Mit den prognostizierten Eingangsdaten für den Verkehr, die Meteorologie und die Hintergrundbelastung kann mit IMMIS^{mt} die Immissionsbelastung im Hotspot für die folgenden drei Stunden modelliert werden.

Nachdem die prognostizierten Eingangsdaten in Kapitel 7.1.1 bis Kapitel 7.1.3 bereits evaluiert wurden, werden in diesem Kapitel die vorhergesagten Immissionen für den Hotspot Altewiekring evaluiert. Dazu werden Daten aus dem Onlinebetrieb des Monitoringsystems IMMIS^{mt}-Systems verwendet. Da das Prognosemodul von IMMIS^{mt} im ersten Halbjahr 2015 nur zeitweise aktiviert war, können für die Auswertung nur Daten vom 02.07.2015 – 31.12.2015 verwendet werden.

In Abbildung 7-9 werden die für die 1., 2. und 3. Prognosestunden modellierten NO₂- und PM10-Immissionen am Ort der Messstation im Altewiekring den an dieser Station gemessenen Immissionen als Streudiagramm gegenübergestellt. Wie bereits im Monitoringbetrieb ist die Modellgüte für PM10 auch bei den Vorhersagedaten besser als bei NO₂. Wie zu erwarten nimmt die Vorhersagequalität für weiter entfernte Zeitpunkte ab.

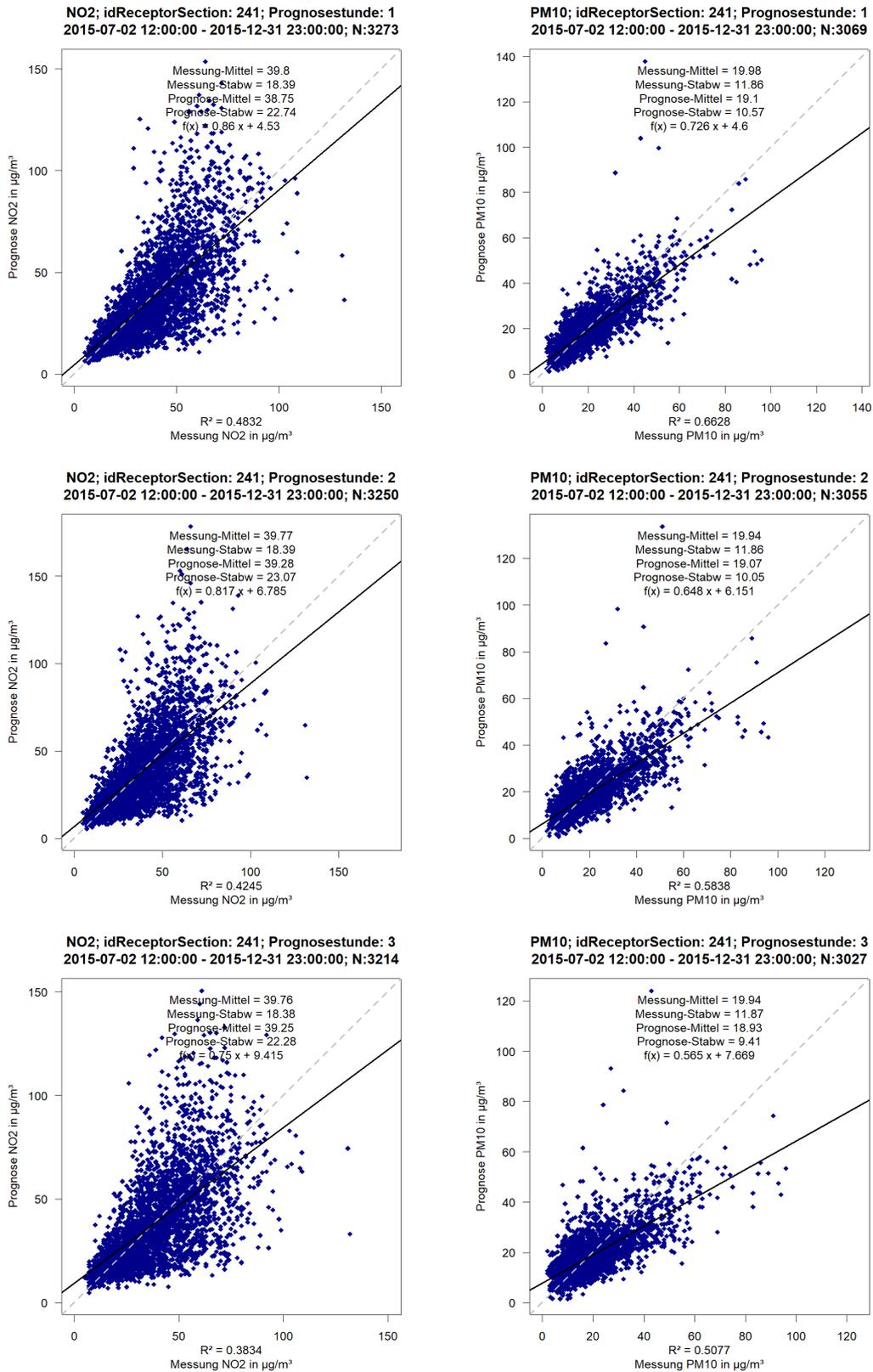


Abbildung 7-9: Streudiagramm der gemessenen und prognostizierten Immissionen (NO₂ links, PM₁₀ rechts) am Altewiekring für die 1., 2. und 3. Prognosestunde

Die Mittelwerte der gemessenen und für die drei Prognosestunden modellierten NO₂- bzw. PM10-Immissionen sind für das zweite Halbjahre 2015 in Tabelle 7-1 bzw. Tabelle 7-2 zusammengefasst. Zusätzlich sind die Mittelwerte der modellierten Immissionen aus dem Monitoring angegeben. Die Basis für die Mittelwertbildung der Monitoringdaten ist dabei das gesamte Jahr 2015.

Bezogen auf das ganze Jahr 2015 unterschätzt bereits das Monitoring die NO₂-Messung um -5.5 %. Bei den Vorhersagen im zweiten Halbjahr beträgt die Unterschätzung im Mittel nur 2.5 % für die 1. Prognosestunde und 1.3 % für 2. und 3. Prognosestunde. Der Erklärungswert R² ist für das Monitoring mit 56 % größer als für die Vorhersagen.

Bei PM10 hat das Monitoring einen hohen Erklärungswert R² mit 83%. Bei der Vorhersage geht für die 1. Prognosestunde der Erklärungswert auf 66 %, für die 2. Prognosestunde auf 58 % und für die 3. Prognosestunde auf 51 % zurück.

Tabelle 7-1: Vergleich der gemessenen und modellierten NO₂-Immissionen an der Messstation Altewiekring im Monitoring und für die drei Prognosestunden

NO ₂	Monitoring	Vorhersage		
		1. Stunde	2. Stunde	3. Stunde
Zeitraum	01.01.-31.12.2015	02.07. - 31.12.2017		
Anzahl [h/Jahr]	7917	3273	3250	3214
Messung [µg/m ³]	40	39.8	39.8	39.8
Modell [µg/m ³]	37.8	38.8	39.3	39.3
abs. Abweichung [µg/m ³]	-2.2	-1.0	-0.5	-0.5
rel. Abweichung	-5.5%	-2.5%	-1.3%	-1.3%
R ²	0.56	0.48	0.42	0.38

Tabelle 7-2: Vergleich der gemessenen und modellierten PM10-Immissionen an der Messstation Altewiekring im Monitoring und für die drei Prognosestunden

PM10	Monitoring	Vorhersage		
		1. Stunde	2. Stunde	3. Stunde
Zeitraum	01.01.-31.12.2015	02.07. - 31.12.2017		
Anzahl [h/Jahr]	8155	3069	3055	3027
Messung [µg/m ³]	20.7	20.0	19.9	19.9
Modell [µg/m ³]	19.8	19.1	19.1	18.9
abs. Abweichung [µg/m ³]	-0.9	-0.9	-0.8	-1.0
rel. Abweichung	-4.3%	-4.5%	-4.0%	-5.0%
R ²	0.83	0.66	0.58	0.51

7.1.5 Aktivierungs- und Minderungsdaten unter Nutzung der Kurzfristvorhersage im Vergleich zum Basisfall

Im Folgenden werden die Aktivierungs- und erzielbaren Minderungsdaten im UVM Braunschweig untersucht, wenn eine Aktivierung der Maßnahmen auf Basis der Daten aus der Kurzfristvorhersage getroffen werden würde. Hierbei wurden die vorhergesagten NO₂-Konzentrationen im Hotspot als Schaltgrundlage verwendet.

Da das Prognosemodul im ersten Halbjahr 2015 nur eingeschränkt aktiviert war, können für die Schwellenwertanalyse nur Daten vom 02.07.2015 – 31.12.2015 verwendet werden. Die Aktivierungsdaten und Minderungen werden verglichen mit denen, die erzielt werden, wenn auf Basis der Daten aus dem Monitoring Maßnahmen geschaltet werden. Die Schwellenwertanalyse aus Kapitel 3.1.1 mit Auslösung basierend auf den Monitoringdaten wurde deshalb noch einmal für das 2. Halbjahr 2015 durchgeführt.

In Tabelle 7-3 sind die Aktivierungsdaten für verschiedenen NO₂-Schwellenwerte für das 2. Halbjahr 2015 einmal auf der Basis der Monitoringdaten und zusätzlich auf der Basis der Vorhersagen für die drei Prognosestunden aufgeführt. Wie in der Evaluierung der Vorhersagen gezeigt ist die Unterschätzung der NO₂-Messwerte in der Vorhersage geringer als im Monitoringbetrieb. Entsprechend liegen die Aktivierungsdaten auf Basis der Vorhersagen über den Daten aus dem Monitoringbetrieb. Besonders deutlich treten höhere Aktivierungsdaten ab einem NO₂-Schwellenwert von 80 µg/m³ auf. Entsprechend sind die Minderungswirkungen auf der Basis der Vorhersagen, wie sie in Tabelle 7-4 dargestellt sind, auch höher als im Monitoringbetrieb. In Tabelle 7-4 wird beim Monitoringbetrieb noch unterschieden zwischen den theoretischen Instantan-Fall und dem um eine Stunde verzögerten Auslösefall. Ein direkter Vergleich ist eigentlich nur zwischen den Vorhersagen und dem verzögerten Auslösefall statthaft. Demnach liegt die Minderungswirkung auf Grund einer Auslösung durch eine Vorhersage immer über der Wirkung durch den Monitoringbetrieb. Vergleicht man z. B. den Monitoringfall bei einem NO₂-Schwellenwert von 80 µg/m³ der zu einer Aktivierungsrate von 3.4 % führt mit der Auslösung bei 90 µg/m³ in der 1. Prognosestunde mit einer ähnlich hohen Aktivierungsrate von 3.5 % so liegt das Minderungspotenzial beim Monitoringbetrieb und in der 1. Prognosestunde bei ebenfalls ähnlichen -0.6 % bzw. -0.7 %.

Tabelle 7-3: Vergleich der Aktivierungen bei Variation des NO₂-Schwellenwerts auf Basis der Monitoringdaten und der Vorhersagen

Schwellenwert in µg/m ³	Monitoring		Prognose 1. Std.		Prognose 2. Std.		Prognose 3. Std.	
	Anzahl	Rate	Anzahl	Rate	Anzahl	Rate	Anzahl	Rate
40	1405	35.9%	1305	33.4%	1315	33.6%	1326	33.9%
50	857	21.9%	859	22.0%	878	22.4%	899	23.0%
60	491	12.5%	527	13.5%	551	14.1%	529	13.5%
70	265	6.8%	316	8.1%	334	8.5%	312	8.0%
80	132	3.4%	206	5.3%	208	5.3%	179	4.6%
90	61	1.6%	136	3.5%	115	2.9%	114	2.9%
100	33	0.8%	67	1.7%	74	1.9%	62	1.6%

Tabelle 7-4: Vergleich der Minderungen bei Variation des NO₂-Schwellenwerts auf Basis der Monitoringdaten und der Vorhersagen

Schwellenwert in µg/m ³	Monitoring Instantan		Monitoring Verzögert		Prognose 1. Std.		Prognose 2. Std.		Prognose 2. Std.	
	Absolut in µg/m ³	Relativ	Absolut in µg/m ³	Relativ	Absolut in µg/m ³	Relativ	Absolut in µg/m ³	Relativ	Absolut in µg/m ³	Relativ
40	-1.41	-3.9%	-1.29	-3.6%	-1.32	-3.6%	-1.32	-3.6%	-1.29	-3.6%
50	-1.05	-2.9%	-0.93	-2.6%	-1.01	-2.8%	-1.02	-2.8%	-1.01	-2.8%
60	-0.72	-2.0%	-0.61	-1.7%	-0.72	-2.0%	-0.73	-2.0%	-0.69	-1.9%
70	-0.46	-1.3%	-0.383	-1.1%	-0.5	-1.4%	-0.5	-1.4%	-0.45	-1.2%
80	-0.27	-0.7%	-0.21	-0.6%	-0.35	-1.0%	-0.34	-0.9%	-0.29	-0.8%
90	-0.14	-0.4%	-0.11	-0.3%	-0.25	-0.7%	-0.2	-0.6%	-0.2	-0.6%
100	-0.08	-0.2%	-0.06	-0.2%	-0.13	-0.4%	-0.13	-0.4%	-0.11	-0.3%

7.2 Wittenberg

7.2.1 Vergleich der Tages- und Vortagesvorhersage mit Basisfall

Der Vergleich der Vorhersagegenauigkeit im Vergleich zu den eingetretenen Messwerten (Basisfall) wurde bereits in Anlage 2, dort Kapitel 5.4.2.3, aufgezeigt und erläutert.

7.2.2 Aktivierungs- und Minderungsrate unter Nutzung der Tagesvorhersage im Vergleich zum Basisfall

Die Aktivierungs- und Minderungsrate im Vergleich zum Basisfall unter Nutzung der Tagesvorhersagen aus ProFet für das Bezugsjahr 2014 sind im Kapitel 3.4 aufgeführt und diskutiert.

7.2.3 Aktivierungs- und Minderungsrate unter Nutzung der Vortagesvorhersage im Vergleich zum Basisfall

Im Folgenden werden Aktivierungs- und PM10-Minderungsrate bei Variation der Auslöseschwellen unter Nutzung der Vortagesvorhersage ermittelt. Ausgangswerte sind hierbei die Nullfallkonzentrationen (also ohne Aktivierung der Maßnahme). Die Ergebnisse lassen sich direkt mit den Ergebnissen des Kapitels 3.4 (Basis dort sind die Tagesvorhersagen) vergleichen.

Die Ergebnisse auf Basis der Vortagesvorhersage sind in der Tabelle 7-5 zusammengestellt.

Die Aktivierungsrate sind deutlich geringer als unter Verwendung der Tagesvorhersagen. Grund dafür ist das in der Vortagesvorhersage tendenziell niedrigere Konzentrationsniveau gegenüber der Tagesvorhersage bzw. den Messwerten.

Wie auch bei der Verwendung der Tagesvorhersage zeigt sich erwartungsgemäß auch hier, dass mit Erhöhung der Auslöseschwelle die Aktivierungsrate und damit das Minderungspotenzial sinken. Die größte Wirkung hätte im Jahr 2014 eine Auslöseschwelle von 40µg/m³ (Auto 1) gehabt. Damit wären 2 Tagesgrenzwertüberschreitungen vermieden gewesen, also eine mehr als im Basisfall und eine weniger als bei Verwendung der Tagesvorhersage. Es hätte die gleiche Wirkung wie die LÜSA-Aktivierungen gehabt.

Tabelle 7-5: Ergebnisse für die Aktivierungs- und PM10-Minderungsraten bei Variation der PM10-Auslöseschwelle für das Bezugsjahr 2014 unter Nutzung der Vortagesvorhersage

Fall	PM10-Schwelle ProFet	Aktivierungs- tage	Aktivierungs- rate	Überschrei- tungstage	Differenz zu Nullfall	PM10-JMW
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	[-]	%	[-]	[-]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Messung	LÜSA	33	9	26	-2	24.7
Nullfall	keine	0	0	28	0	24.8
Auto 1	40	24	7	26	-2	24.7
Auto 2	45	16	4	27	-1	24.7
Auto 3	50	12	3	27	-1	24.8
Auto 4	55	3	1	28	0	24.8
Auto 5	60	2	1	28	0	24.8
Auto 6	70	0	0	28	0	24.8

Bei Schwellenwerten oberhalb von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sind keine nennenswerten Minderungen feststellbar.

Der PM10-Jahresmittelwert unterscheidet sich bei allen Aktivierungsfällen um weniger als $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

8 Befolgungsraten

Der Erfolg gewisser Typen von UVM-Maßnahmen (z. B. Durchfahrverbote, Tempolimits, Umleitungsempfehlungen) hängt in starkem Maße von der Befolgungsrate der Verkehrsteilnehmer ab. Die Befolgungsrate ist dabei definiert als Anteil an Verkehrsteilnehmern, der sich bei einer verkehrsbeschränkenden Maßnahme an die Beschränkung hält. Bekannt ist, dass die Befolgungsraten bei verkehrlichen Einschränkungen sehr unterschiedlich ausfallen können. Es ist daher erforderlich, die Bestimmungsgründe für unterschiedliche Befolgungsraten in Abhängigkeit der Art der UVM-Maßnahme, der Überwachung der Befolgung und der örtlichen Parameter zu bestimmen.

In einem ersten Schritt wurden die verfügbaren Untersuchungen und qualitativen Aussagen zur Befolgungsrate von bestehenden UVM systematisiert. Dabei wurden die Kriterien, die bereits bei der Auswahl der UVM-Gebiete erarbeitet wurden, genutzt.

Die Literaturlauswertung wurde durch Erfahrungen vor Ort in den ausgewählten UVM-Gebieten ergänzt.

Unter **Befolgungsgrad** oder **Befolgungsrate** im Verkehrswesen wird der Anteil an Verkehrsteilnehmern verstanden, der sich an vorgegebene Regeln des Verkehrsverhaltens hält. Der Befolgungsgrad lässt sich durch Beobachtung, Messung oder Zählung ermitteln.

Die **Befolgung** einer Vorschrift ist das Ergebnis eines individuellen Entscheidungsprozesses, in dem der Verkehrsteilnehmer abwägt, welchen Nutzen bzw. Schaden ein empfohlenes oder vorgeschriebenes Verhalten für ihn in der aktuellen Situation hat. Dabei werden die möglichen Verhaltensweisen mit Vorteilen und Nachteilen gegenübergestellt und abgewogen. Neben ökonomischen Indikatoren gehen dabei ethische und moralische Werthaltungen ein (Pfeiffer & Gelau, 2002).

Bei der Befolgung eines vorgeschriebenen Verhaltens handelt es sich somit um eine individuelle Entscheidung. Der **Befolgungsgrad** stellt die Aggregation der individuellen Entscheidungen, relativiert auf die Grundgesamtheit der betrachteten Personen dar.

Bei restriktiven Maßnahmen hängt der Befolgungsgrad in hohem Maße von der **Überwachungsintensität** (Kontrollen pro Zeit und Raum und damit verbunden der Wahrscheinlichkeit, dass die Nichtbefolgung der Vorschrift erkannt und damit bestraft wird) sowie von der **Höhe der Strafe** ab. Eine geringe Überwachungsintensität und ein geringes Strafmaß haben in der Regel einen geringen Befolgungsgrad zur Folge und vice versa.

Die Gründe für einen hohen oder einen niedrigen Befolgungsgrad einer restriktiven Maßnahme erschließen sich daher erst, wenn man auf der individuellen Ebene die jeweilige Situation, in der die potentielle Übertretung stattfindet, analysiert.

Analoge Überlegungen stellt auch die überwachende Behörde an. Während das Strafmaß Ergebnis einer politischen Entscheidung ist, stellt die Überwachungsintensität eine Entscheidung dar, in der die verfügbaren Ressourcen auf der einen Seite und der zu erwartende Erfolg der Überwachung auf der anderen Seite gegenübergestellt werden.

Der Befolgungsgrad ist somit letztlich das Ergebnis der Entscheidungen auf der individuellen Ebene, die aber mit den Entscheidungen auf der überwachenden Ebene direkt verknüpft sind (Jost 1998), (Pfeiffer & Hautzinger, 2001).

Akzeptanz drückt ein zustimmendes, individuelles Werturteil auf freiwilliger Basis aus. Als objektbezogene Eigenschaft bezeichnet Akzeptanz die Zustimmung zum Angeboten oder Vorgeschlagenen. Ihr geht also eine bewusste oder auch unbewusste Beurteilung anhand subjektiver Wertmaßstäbe voraus.

Für ein UVM ist zunächst der Befolungsgrad relevant. Ein hoher Befolungsgrad einer Maßnahme, die Immissionen verringern soll, ist eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der Maßnahme. Gleichwohl muss auch die Akzeptanz der Maßnahme beachtet werden, da es sonst auf Dauer den politischen Entscheidungsträgern schwerfallen wird, die Maßnahme nachhaltig aufrecht zu erhalten.

Ziel der Überlegungen in diesem Kapitel ist es, Erkenntnisse aus bisherigen Untersuchungen systematisiert zu sammeln und erste Ansätze zu schaffen, mit denen die Befolungsraten in Zukunft realistischer eingeschätzt werden können, als das gegenwärtig der Fall ist. Dabei muss unterschieden werden zwischen der Frage, wie Befolungsraten ex ante geschätzt werden können und der Frage, wie sie bei realisierten Maßnahmen ermittelt werden können. Die Vorgehensweisen werden von Maßnahme zu Maßnahme unterschiedlich sein.

Wie kann die Befolungsrate ermittelt werden?

Die Befolungsrate B wird definiert als Verhältnis der Anzahl von Fahrzeugen A, deren Lenker sich an die maßnahmenspezifischen Vorschriften halten zur Gesamtheit aller Fahrzeuge G, die sich an die Vorschrift halten sollten.

$$B = A/G \cdot 100 [\%].$$

Als Randbedingungen gilt: Bezugszeitraum ist das aktuelle Jahr; Bezugsraum ist der abgegrenzte Wirkungsraum.

Die Aufgabe ist somit die Bestimmung von A und von G. Wenn es sich bei der Maßnahme z. B. um eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf einem Streckenabschnitt handelt, ist A die Anzahl an Fahrzeugen, deren Lenker über den Zeitraum eines Jahres die Geschwindigkeitsbeschränkung nicht überschreiten; G ist die Gesamtanzahl an Fahrzeugen über ein Jahr, die den Streckenabschnitt befahren.

Wenn die Maßnahme nur Teilkollektive betrifft (z. B. ein Lkw-Durchfahrtsverbot, wobei Lieferverkehr frei ist), können G und A meist nur über ein Modell abgeschätzt werden.

8.1 Maßnahmen für die eine Befolungsrate relevant ist

Die Befolungsrate von Verkehrsteilnehmern ist vor allem bei solchen Maßnahmen von Bedeutung, die erhebliche Veränderungen in den Verkehrsgewohnheiten bedingen. Aus der umfangreichen Übersicht von Diegmann über Maßnahmentypen (Diegmann et al., 2014), die im Rahmen von Luftreinhalteplänen umgesetzt wurden, sind folgende Maßnahmentypen im Hinblick auf die Befolungsrate relevant:

Tabelle 8-1: Maßnahmen, für die die Befolgungsrate im Hinblick auf ihre Wirksamkeit relevant ist (ID_MN nach Diegmann et al., 2014)

ID_MN	Beschreibung
Maßnahme gilt für Kfz ohne grüne Plakette	
27	Umweltzone ohne zeitliche Staffelung
54	Umweltzone mit zeitlicher Staffelung
Geschwindigkeitsreduktion für alle Kfz	
17	Geschwindigkeitsreduzierung
18	Tempo 30
19	Tempo 40
124	Tempo 20
130	Tempo 30 oder 40 auf HVS
Geschwindigkeitsreduktion für Lkw > 3,5 t zul. GG	
20	Tempo 30 für Lkw
Bepreisung für alle Kfz	
23	City-Maut / mit gebietsbezogenen Vorteilen für Anwohner
33	Parkraumbewirtschaftung
Bepreisung für Lkw > 3,5t zul. GG	
31	Lkw-Mautpflicht auf Abschnitten von Bundes- und Landesstraßen
Verkehrsumlenkung für den Kfz-Durchgangsverkehr	
6	Tangentiale Ableitung des DV
29	Lkw-Durchfahrtsverbot, emissionsabhängig
45	Lkw-Durchfahrtsverbot, immissionsabhängig
Sperrung für den gesamten Kfz-Verkehr	
26	Sperrung für den gesamten Kfz-Verkehr
Sonstige Maßnahmen für alle Kfz	
101	Abstellen des Motors bei Wartezeiten
Verstärkung von Kontrollen	
102	Geschwindigkeitskontrolle
129	Kontrolle der verkehrlichen M. aus LRP
Nicht restriktive Maßnahmen für alle Kfz	
106	Verkehrsflussoptimierung

In den meisten Fällen von umgesetzten Maßnahmen sind Befolgungsraten nicht ermittelt worden. Problem ist einmal, dass in allen Fällen die Bezugsgröße ermittelt werden muss. Hinzu kommt, dass die Messung von Befolgungsraten meist auf räumlich-zeitliche Stichproben beschränkt ist. Bekannt ist z. B. das typische Verhalten bei Geschwindigkeitskontrollen, wobei nur am Messquerschnitt die Beschränkung eingehalten wird. Trotz dieser Problematik sollen im Folgenden Erkenntnisse zur Befolgungsrate, mindestens auf der qualitativen Ebene diskutiert werden.

8.2 LKW-Umleitungen (Maßnahmen ID_MN 45)

8.2.1 Wittenberg

Durch das LAU Sachsen-Anhalt wurde im Zeitraum vom 19.11.08 – 21.01.09 eine Verkehrserhebung im Stadtgebiet von Wittenberg durchgeführt.

Die LKW-Umleitungsstrecke, welche durch das UVM-Wittenberg geschaltet wird, wurde in die Verkehrszählung mit einbezogen, da die Erfassung der geänderten Verkehrsflüsse im Falle der aktivierten Umleitung das vorrangige Ziel der aktuellen Verkehrserhebung war. Die Umleitung war während der o.g. Erhebung an insgesamt neun Tagen aktiv und es konnten Erkenntnisse über geänderte Verkehrsflüsse gewonnen werden.

Die Verkehrserhebungen wurden mit Hilfe von SDR-Systemen (Seitenradar) durchgeführt. Die Klassifizierung in Fahrzeugklassen erfolgte auf Grundlage von Längenklassen. Im vorliegenden Fall wurden folgende Längenklassen zu Grunde gelegt:

Pkw 0 – 6 m Lkw 8 – 14 m

kLkw* 6 – 8 m Lastzug (sLkw) > 14 m

* Kleintransporter

Die Umleitung wurde im eingangs genannten Untersuchungszeitraum einmal aktiviert und war vom 07. - 15. Januar 2009 aktiv. Da die Maßnahme am 07. Januar erst ab 15 Uhr wirksam und am 15. Januar bereits ab 11 Uhr wieder aufgehoben war, werden diese beiden Tage in der nachfolgenden Auswertung nicht mit betrachtet. Mithin steht ein Zeitraum von sieben Tagen (Donnerstag bis Mittwoch) zur Auswertung zur Verfügung, der auch ein Wochenende miteinschließt.

Zum Vergleich der im genannten Zeitraum unter den Bedingungen der Lkw-Umleitung ermittelten Verkehrsflüsse wurde ein Zeitraum Anfang Dezember ausgewählt, der die gleiche Länge hat und die gleichen Wochentage miteinschließt (04.12. – 10.12.2008). Der Zeitraum wurde bewusst so früh gewählt, um den Einfluss der Feiertage und der urlaubsbedingt verminderten Verkehrsflüsse auszuschalten.

Da das vorrangige Ziel der Auswertung die Erfassung der umleitungsbedingt veränderten Lkw-Zahlen ist, wurden jeweils die beiden Wochenendtage, die sich ohnehin durch deutlich verringerte Lkw-Zahlen auszeichnen, nicht mit betrachtet und somit nur der DTVw berechnet. Des Weiteren beschränkt sich die Auswertung nur auf die von der Umleitungsmaßnahme betroffene Fahrtrichtung (von West nach Ost).

Lt. Auswertung des LAU unterscheiden sich die umleitungsbedingten Verkehrsflüsse insbesondere bei den Lkw-Zahlen sehr deutlich. Insgesamt gesehen konnten die geänderten Verkehrsflüsse bei aktivierter Umleitung sehr gut abgebildet werden. Die durchschnittliche Zahl der Lkw lag in der Dessauer Straße (Fahrtrichtung von West nach Ost, werktags, ohne Umleitung) bei 594 Fahrzeugen/Tag.

Bei aktivierter Umleitung verringerte sich diese Zahl um 377 Fahrzeuge/Tag, was einer Reduzierung von mehr als 60 % entspricht.

Angesichts der eindeutigen Beschilderung – Verbot für Kfz mit einem zulässigen Gesamtgewicht > 3.5t – wäre aber im Grunde noch eine viel stärkere Reduzierung zu erwarten gewesen. An der Zählstelle in Höhe der Dessauer Str. 40 dürften eigentlich keine Lkw mehr registriert werden, denn dort hätten allenfalls Busse im ÖPNV (deren Anzahl war bei der Auswertung der Daten nicht bekannt) noch freie Fahrt. Die Anzahl der Busse ist letztlich in der Zahl der 217 Lkw enthalten, die dort während der aktiven Umleitung noch gemessen wurden. Hier ist zu unterstellen, dass in einer gewissen Anzahl der Fälle die Verbotsschilder ganz offensichtlich ignoriert werden.

Unterstellt man kein ÖPNV-Verkehr auf der Dessauer Straße, dann entspricht die minimale Befolungsratenrate (werktags) gleich der Verringerung in den LKW-Zahlen (60 %). Unter Berücksichtigung des ÖPNV liegt die Befolungsratenrate höher.

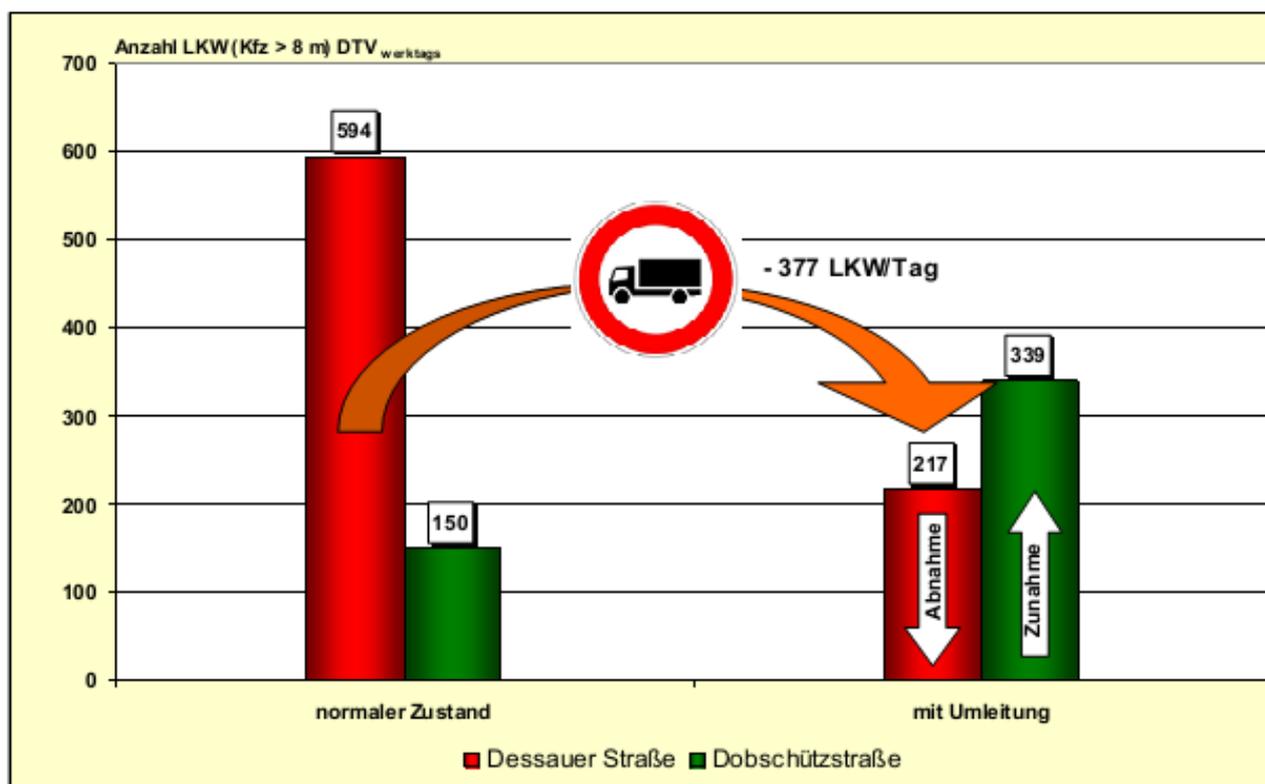


Abbildung 8-1: Vergleich der Lkw-Zahlen in der Dessauer Str. / Dobschützstraße (LAU Sachsen-Anhalt, 2009)

8.2.2 Umleitung von Lkw-Verkehrsströmen in Hagen

Erfahrungen mit der Befolgung von Umleitungsvorschriften für den Lkw-Verkehr wurden in Hagen im Rahmen der Umsetzung der Maßnahmen des Luftreinhalte- und Aktionsplans Hagen Innenstadt gemacht (Ludes et al., 2010).

Der immissionskritische Streckenabschnitt ist die Märkische Straße am östlichen Rand der Innenstadt von Hagen. Als Maßnahmen wurden ein statisches Durchfahrtsverbot, ein dynamisches Durchfahrtsverbot I (ohne besondere polizeiliche Kontrolle) und ein dynamisches Durchfahrtsverbot II (mit besonderer polizeilicher Kontrolle) im Realbetrieb untersucht. Anstelle der Befolgungsrate wurden die mittleren Lkw-Werktags-Ganglinien ohne und mit Sperrung ermittelt und gegenübergestellt.

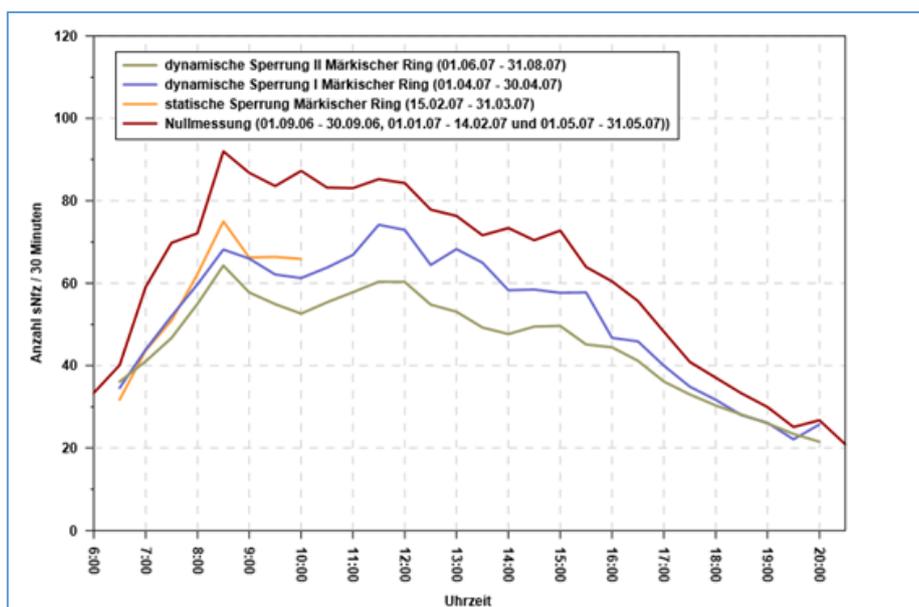


Abbildung 8-2: mittlere Tagesgänge des Lkw-Verkehrs (Märkischer Ring, Hagen) ohne und mit Umleitung

Die Abbildung zeigt das Ergebnis „ohne Sperrung“ und die Ergebnisse bei „statischer Sperrung“ sowie bei „dynamischer Sperrung ohne und mit besonderer polizeilicher Überwachung (dynamische Sperrung I bzw. II)“. Es wird erkennbar, dass während der Sperrung am Märkischen Ring die Anzahl der Lkw-Fahrten deutlich abgenommen hat. Das Durchfahrverbot wurde jedoch längst nicht von allen Lkw-Fahrern beachtet. Die Hagener Polizei verstärkte daraufhin ihre Kontrollen (dynamische Umleitung II). Der personelle polizeiliche Aufwand dafür war allerdings erheblich. Immerhin konnte mit dieser Aktion der Lkw-Verkehr in der Märkischen Straße gegenüber dem Fall ohne besondere polizeiliche Kontrolle weiter verringert werden.

Tabelle 8-2: Verringerung des Lkw Verkehrs im Vergleich ohne und mit Durchfahrverbot

Phase	Minderung Lkw-Verkehr [%]	Bezugszeitraum
Statische Sperrung	22	6 bis 10 Uhr
Dynamische Sperrung I	19	6 bis 20 Uhr
Dynamische Sperrung II	29	6 bis 20 Uhr

Mit den Durchfahrverboten wurde aus verschiedenen Gründen das Immissionsminderungsziel (NO₂) für den betrachteten kritischen Straßenzug nicht erreicht. Auch hätte für eine Bilanz die Immissionskonzentrationserhöhung auf den Umleitungsrouten in Betracht gezogen werden müssen. Die Stadt Hagen verfolgt jetzt als Konsequenz der unbefriedigenden (vermuteten) Befolgungsraten und des nicht erreichten Immissionsziels eine weiträumige Umleitung des durch Hagen durchgehenden Lkw-Verkehrs unter Nutzung der die Stadt umgebenden Autobahnen.

8.2.3 Lkw-Durchfahrverbot für Stuttgart

Von 2004 bis 2008 existierte für Stuttgart ein ganzjähriges Durchfahrverbot für Lkw > 3,5 t zul. Gesamtgewicht (Lieferverkehr im Stadtgebiet frei), das in den Folgejahren um

statische und dynamische Geschwindigkeitsbeschränkungen ergänzt wurde (BASt, 2017). Die Bundesstraße 10 mit Abzweigen zur B14 und B27 war vom Lkw-Durchfahrtsverbot ausgenommen. Das Durchfahrtsverbot galt bis zur Einführung der Umweltzone am 1. März 2004. Die Befolgungsrate des Durchfahrtsverbots wurde nicht ermittelt. Theoretisch waren 9% der Lkw-Fahrten im Stadtgebiet vom Durchfahrtsverbot betroffen.

8.3 Einhaltung von Tempolimits (Maßnahmen ID_MN 17, 18, 19, 124, 130)

8.3.1 Halle/Merseburger Straße (Innerorts T30 auf HVS)

Im Rahmen eines Forschungsprojektes (Lohmeyer, 2010) wurden messtechnische Analysen der Verkehrssituationen auf der Merseburger Straße in Halle (Hauptverkehrsstraße mit ca. 32 000 Kfz/d) mittels „Floating-Car-Methode“ durchgeführt. Die Merseburger Straße ist Bestandteil des UVM Halle/Saale (siehe Anlage 2, dort Kapitel 3).

In die Untersuchung wurden folgende 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 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 war. 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 %.

8.3.2 Erfurt/Bergstraße (Innerorts T30 auf HVS)

Der Befolgungsgrad der Tempo30-Anordnung in der Talstraße in Erfurt ist vergleichsweise hoch, da sie mit einer stationären Geschwindigkeitsüberwachung verbunden ist.

Abbildung 8-3 zeigt die Verteilung der lokalen Kfz-Geschwindigkeit am Messquerschnitt (MQS) Talstraße. Die zugrundeliegenden Messdaten haben eine Auflösung von 15 Mi-

nuten. Etwa 50% der Kfz haben eine Geschwindigkeit von 33 km/h oder weniger, etwa 85% der Kfz haben eine Geschwindigkeit von 35 km/h oder weniger.

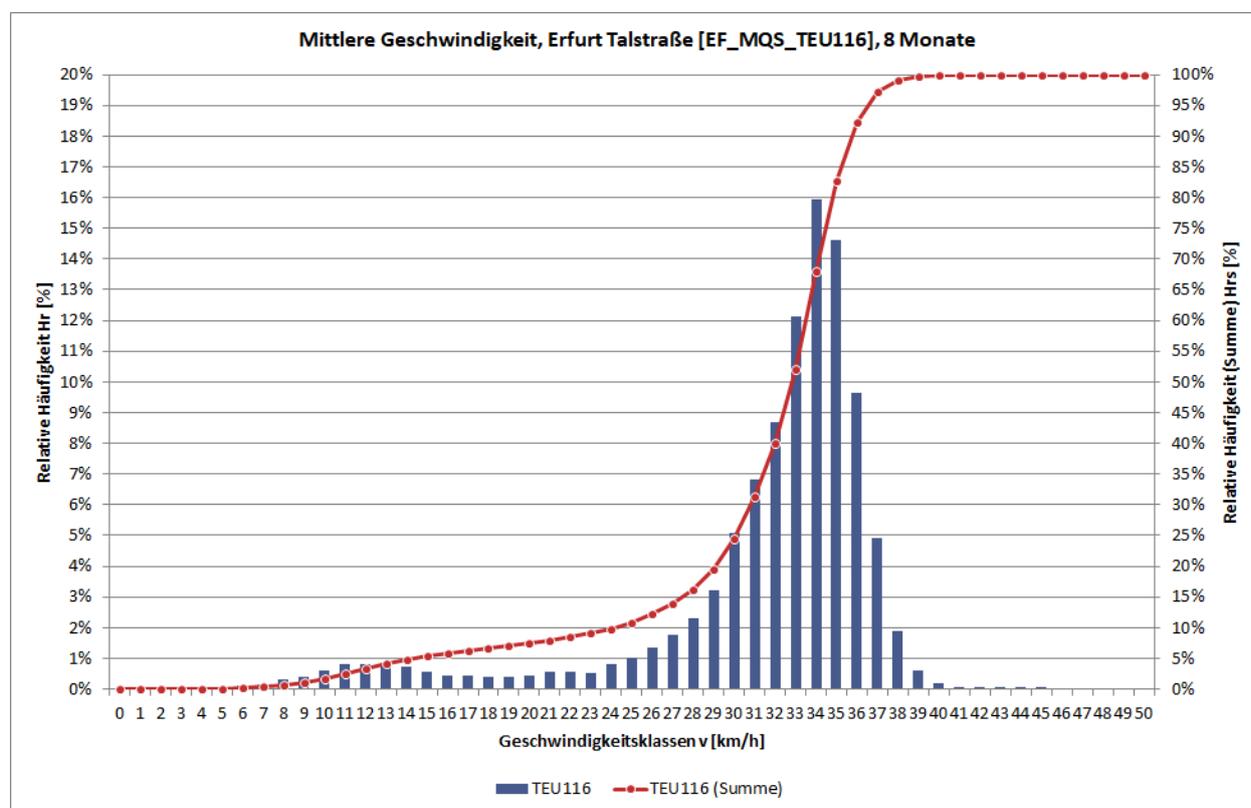


Abbildung 8-3: Verteilung der lokalen Kfz-Geschwindigkeit am MQS Talstraße

8.3.3 Schildhornstraße/Berlin (Innerorts T30 auf HVS)

In Berlin gilt Tempo 30 bereits richtungsbezogen an 536 km von insgesamt 3.167 km des Hauptverkehrsstraßennetzes (17 %). Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt wurde 2013 eine Untersuchung zur Evaluierung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen in Berlin abgeschlossen (LK Argus & VMZ, 2013). Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- „In Berlin sinken die mittleren Geschwindigkeiten nach Anordnung von Tempo 30 in rund 80 Prozent der untersuchten Fälle statistisch signifikant, also nicht zufällig.
- Die Geschwindigkeitsrückgänge sind jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt. Tempo 30 bewirkt eine Senkung der mittleren Geschwindigkeit um bis zu 15 km/h, wenn keine Begleitmaßnahmen ergriffen werden. Davon gibt es an den untersuchten Berliner Strecken
 - an etwa einem Drittel keine nennenswerten Veränderungen,
 - an einem weiteren Drittel Geschwindigkeitssenkungen um 5 bis 10 km/h und
 - an einem Drittel Geschwindigkeitssenkungen über 10 km/h.
 - Mit Geschwindigkeitskontrollen liegt der Rückgang bei bis zu 17 km/h.
- Die Spitzengeschwindigkeiten werden etwa im gleichen Maß gesenkt wie die mittleren Geschwindigkeiten.“

Der Befolgungsgrad wird in engem Zusammenhang mit der Dauer seit der Anordnung gesehen. So pegeln sich die Geschwindigkeiten erst etwa nach einem halben Jahr auf einem stabileren Niveau ein.

Der Befolgungsgrad der Tempo30-Anordnung in der Schildhornstraße in Berlin-Steglitz-Zehlendorf ist vergleichsweise hoch, da sie mit einer stationären polizeilichen Geschwindigkeitsüberwachung verbunden ist. Untersuchungen an verschiedenen Berliner Straßenabschnitten mit Tempo 30 haben gezeigt, dass auch die Visualisierung der aktuellen Geschwindigkeit, z. B. mit Dialog-Displays, eine geschwindigkeitsdämpfende Wirkung haben. Diese ist jedoch geringer als der Effekt einer dauerhaften polizeilichen Überwachung.

Abbildung 8-4 zeigt die Verteilung der lokalen Kfz-Geschwindigkeit am Messquerschnitt Schildhornstraße. Zu erkennen ist, dass 50 % der Kfz eine Geschwindigkeit von 32 km/h oder niedriger haben.

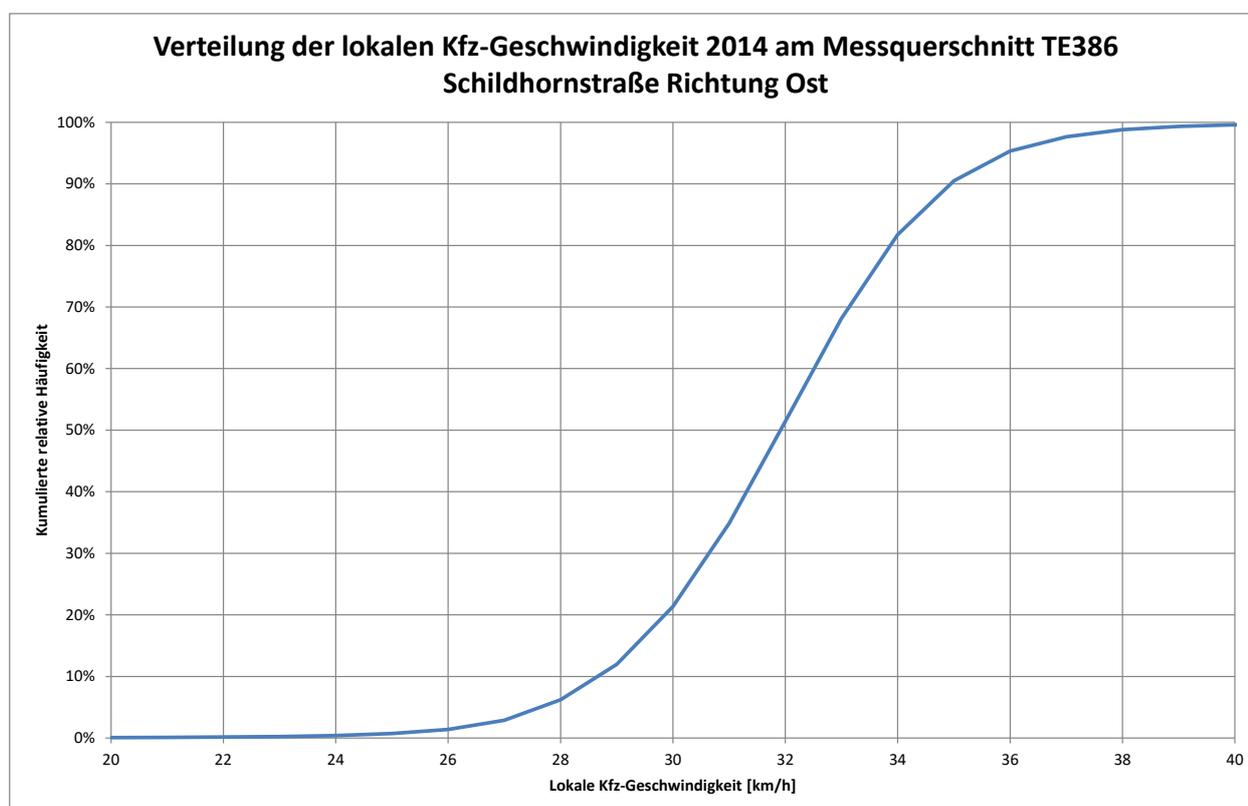


Abbildung 8-4: Verteilung der lokalen Kfz-Geschwindigkeit am Messquerschnitt Schildhornstraße

8.4 Verkehrsmittelwahl (Park & Ride, Infotafeln)

Vor dem Hintergrund der verkehrlichen Einschränkungen durch das dynamische umweltsensitive Verkehrsmanagement (z. B. temporäre Zuflussdosierung im Bereich hochbelasteter Straßenabschnitte oder Tempolimits) sollte durch ein abgestimmtes Informationsmanagement für Verständnis und Akzeptanz bei den Verkehrsteilnehmern geworben werden. Darüber hinaus sollen die Verkehrsteilnehmer durch eine rechtzeitige Information vor Beginn der Maßnahmen in die Lage versetzt werden, sich rechtzeitig auf

die jeweils neue Situation einzustellen. Dabei besteht die Zielsetzung, das Verkehrsverhalten nicht nur hinsichtlich einer räumlichen Verlagerung durch eine andere Routenwahl im Straßennetz zu beeinflussen, sondern auch die vorhandenen Möglichkeiten hinsichtlich der Wahl eines anderen Ziels für Einkauf oder Freizeitaktivitäten, aber auch im Berufsverkehr ein anderes Verkehrsmittel im Nahbereich z. B. das Fahrrad oder für längere Distanzen den ÖPNV einschließlich P+R bzw. B+R für die Zeit der Maßnahme zu nutzen.

Wesentliche Voraussetzung für die Verkehrsteilnehmer sind neben der Kenntnis der aktuellen Luftschadstoffbelastung die daraus abgeleiteten Maßnahmen (Verkehrseinschränkungen) sowie auch Informationen zu den vorhandenen Mobilitätsalternativen. Dazu sind aktuelle intermodale Reisempfehlungen auch unter Berücksichtigung von Störfällen und Havarien bereitzustellen. Grundsätzlich können dabei die bereits vorhandenen Systeme zur Verkehrssteuerung und Information in den Ländern und Städten herangezogen werden. Dazu zählen neben dem Internet, mobile Applikationen, moderne dynamische Informationstafeln an Hauptverkehrsstraßen und Autobahnen und insbesondere auch die Sender der öffentlich-rechtlichen und privaten Rundfunkanstalten.

Die Landeshauptstadt Potsdam hat im Rahmen des umweltsensitiven Verkehrsmanagements vor Beginn und während Maßnahmen auf den vorhandenen dynamischen Informationstafeln an den Hauptzufahrtsstraßen informiert.

Das Land Berlin betreibt im Rahmen seines Verkehrsmanagementsystems 33 stationäre Informationstafeln im Hauptverkehrsstraßennetz. Im Zusammenhang mit der Modernisierung dieser Tafeln wurde 2013/2014 das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit einer Investitions-Voruntersuchung zu Verkehrsinformationen im Straßenverkehr beauftragt⁸. Für die Befragten besitzen Verkehrsinformationen grundsätzlich einen hohen Stellenwert.

Hinsichtlich der Mediennutzung belegten die Informationstafeln hinter dem Radio den zweiten Platz. Von 95% der befragten Berliner wurden die Tafeln äußerst positiv bewertet (Abbildung 8 3). Bei allen Befragten bestand insgesamt ein großes Interesse an der Ausweitung der Informationsinhalte. Hinsichtlich der Wirkungen der Information zum aktuellen Verkehr wurde von 82% der Teilnehmer eingeschätzt, dass sie ihr Verkehrsverhalten (z. B. andere Routenwahl) verändert haben. Als besonders relevant wurden Meldungen zu zukünftigen Verkehrseinschränkungen wie Sperrungen und Baustellen genannt.

Da in Berlin zum Zeitpunkt der Befragung noch keine umweltsensitiven Verkehrssteuerungen in Betrieb war, liegen zu diesen Meldungsinhalten keine Befragungsergebnisse vor.

Bei erheblichen Eingriffen in die Leistungsfähigkeit von Straßenabschnitten infolge von Baumaßnahmen konnte durch ein abgestimmtes Informationsmanagement eine Reduzierung der Verkehrsstärke um bis zu 30% erreicht werden.

⁸ Giesel, Rahn, Investitionsvoruntersuchung zu Verkehrsinformationen im Straßenverkehr, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung, Berlin 2014.

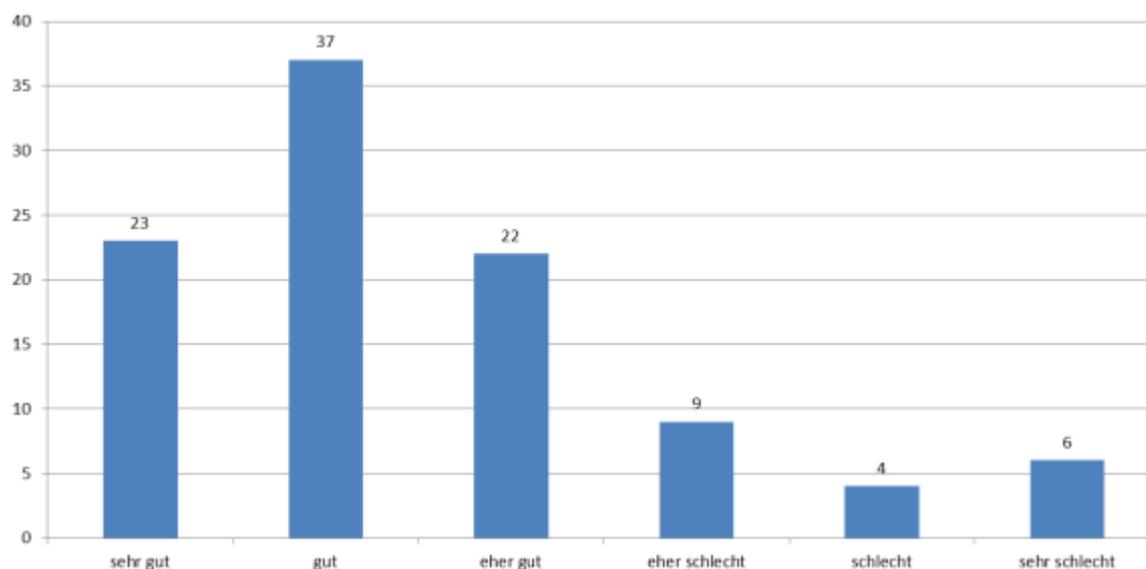


Abbildung 8 3: Bewertung von Informationstafeln in Berlin in Prozent (n=848)

8.5 Weitere Maßnahmen

Systematische Untersuchungen zur Befolgungsrate von Verkehrsmanagementmaßnahmen beschränken sich auf wenige Beispiele. Die Gründe hierfür wurden in Kapitel 8.1 erwähnt. Diese Problematik hat dazu geführt, dass die Frage, wie die Befolgungsrate überhaupt zuverlässig ermittelt werden kann, eigene Forschungen benötigte (Wermuth & Wulff, 2008), (Sturm et al., 2012). Im Folgenden werden einige weitere Erkenntnisse, soweit sie publiziert wurden, zusammengefasst.

Umweltampel (ID_MN 101)

Im Rahmen einer Pilotstudie wurden in Nordrhein-Westfalen die Auswirkungen der sogenannten "Umweltampel" untersucht (Brilon & Wiebusch-Wothge, 2010). Der Befolgungsgrad für das Abschalten des Motors bei Halt betrug im Mittel zwischen 13 und 36 Prozent, wobei er in den Morgenspitzenstunden besonders hoch war. Der Befolgungsgrad hing auch von der Warteposition des Fahrzeugs ab; ab der 7. Warteposition wurden kaum noch Abschaltvorgänge beobachtet.

Einführung von Tempo-30 auf Hauptverkehrsstraßen (Maßnahmen MN 130)

Die Stadt **Hennigsdorf** berichtet am Beispiel der Ortsdurchfahrt Nieder Neuendorf, einer zweistreifigen Landesstrasse, dass die Tempo-30-Regelung, eingebettet in ein Paket mit flankierenden Maßnahmen, zu einem hohen Befolgungsgrad geführt hat (Harupa & Richard, 2014).

LK Argus untersuchte die Wirkungen der Einführung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen in Berlin (Heinrichs, 2012). Die folgende Grafik zeigt den zeitlichen Verlauf der monatlichen mittleren Geschwindigkeiten von 19 HVS (ohne Tempo-Kontrolle), deren zulässige Geschwindigkeit von T50 auf T30 reduziert worden ist. Man erkennt

- deutlich unterschiedliche Geschwindigkeitsniveaus auf den verschiedenen HVS nach Einführung von T30.
- T30 wird als Mittelwert auf fast allen HVS überschritten.

- eine leichte Tendenz zur Abnahme der mittleren Geschwindigkeit im zeitlichen Verlauf.

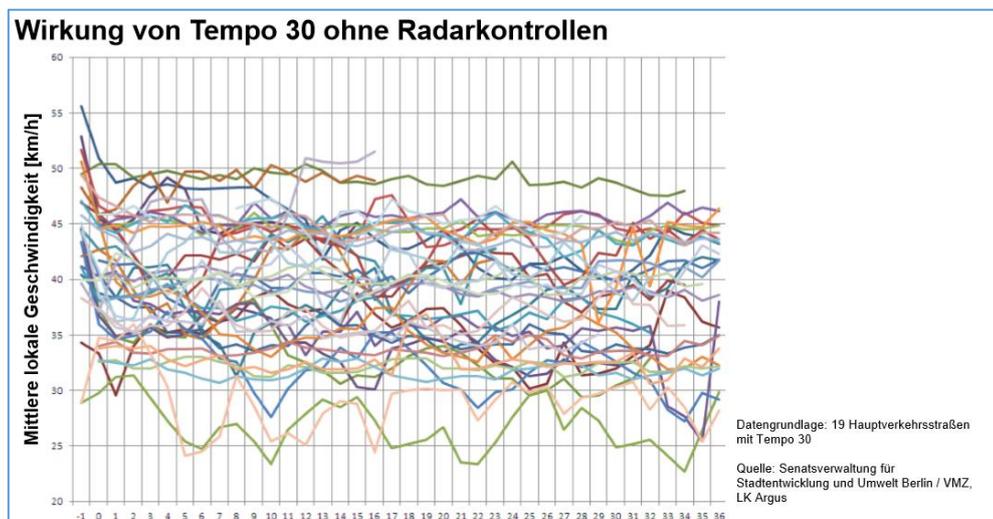


Abbildung 8-5: Entwicklung der Durchschnittsgeschwindigkeit nach Einführung von Tempo 30 statt 50 auf 19 HVS in Berlin (Heinrichs, 2012)

Eine Befolgungsrate lässt sich aus der Untersuchung nicht direkt ableiten. Welche Fragen bei der Bestimmung der Befolgungsrate zu beantworten sind, verdeutlicht die folgende Grafik, in der die Verteilung der lokalen Geschwindigkeiten für eine Straße in Berlin dargestellt ist.

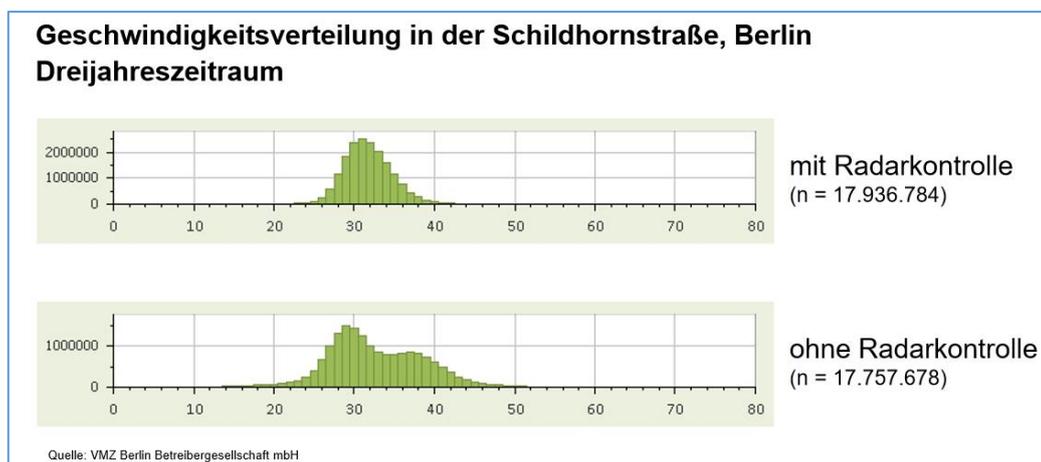


Abbildung 8-6: Verteilung der Geschwindigkeiten mit und ohne polizeilicher Überwachung für die Schildhornstraße, Berlin (Heinrichs, 2012)

Die Grafik zeigt, dass nach einer stationären Radarkontrolle der Überschreitungsanteil deutlich niedriger liegt als ohne Radarkontrolle. Allerdings überschreitet der Mittelwert auch beim Fall mit Radarkontrolle die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit deutlich; mehr als 2/3 der Verkehrsteilnehmer fahren höhere Geschwindigkeiten als zulässig. Es wird deutlich, dass der Mittelwert in einer Diskussion zur Befolgungsrate wenig aussagekräftig ist.

Insgesamt zeigt sich, dass die mittleren Geschwindigkeiten sowohl im Falle ohne polizeiliche Kontrolle als auch im Falle mit polizeilicher Kontrolle deutlich sinken, wobei ein Trend zur Annäherung an die zulässige Höchstgeschwindigkeit besteht. Die Befolgungsraten können aus den Mittelwerten nicht abgeleitet werden.

Statistiken zu Geschwindigkeitsmessungen gibt es zahlreich. Verallgemeinernde Aussagen sind demgegenüber selten. Eine der wenigen repräsentativen Untersuchungen zum Thema stammt aus dem Jahr 1999 und wurde vom **Kuratorium für Verkehrssicherheit** (Österreich) publiziert. Im Rahmen von zweimal jährlich durchgeführten umfangreichen Geschwindigkeitsmessungen auf österreichischen Ortsdurchfahrten wurde festgestellt, dass bei T50 im Ortsgebiet 55% und bei T30 77% die vorgeschriebene Geschwindigkeit überschreiten (Wannenmacher et al., 1999).

Eine Übersicht über Auswirkungen neuerer Maßnahmen zur Verringerung der zulässigen Geschwindigkeiten im motorisierten Straßenverkehr auf Hauptverkehrsstraßen zeigt eine Zusammenstellung des Arbeitskreises AK 1.7.5 „Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 2017) in Tabelle 8-3.

Tabelle 8-3: Beispiele für die Einführung von Tempo 30 (bzw. 40) auf HVS

Ort, Straße	Maßnahme	Wirkung	Quelle
Berlin, Frankfurter Allee	Tempo 40 statt 60	Reduktion der mittleren Geschwindigkeit zwischen 10 und 20 km/h.	Schulze (2002)
Berlin, Beusselstraße	Tempo 30 statt 50	Verringerung der mittleren Geschwindigkeit um 10 km/h.	Lutz et al. (2003)
Berlin, Schildhornstraße	Tempo 30 statt 50 (mit Radarkontrolle)	Immissionsminderung gemessen, aber keine Aussage zur Geschwindigkeitsreduktion	Lohmeyer (2008), Rauterberg-Wulff (2009)
Baden-Württemberg, Ortsdurchfahrten von 12 Kommunen	Tempo 30 statt 50 (bei vergleichbarer Anzahl von Störungen)	Immissionsminderung gemessen, aber keine Aussage zur Geschwindigkeitsreduktion	Aviso (2010-2012)
Stuttgart, Hauptverkehrsstraßen (mehrstreifig)	Tempo 30 bzw. 40 statt 50	Immissionsminderung gemessen, aber keine Aussage zur Geschwindigkeitsreduktion	Kleinebrahm u. Steven (2011), Scholz et al (2013)
München	Tempo 30 statt 50	Immissionsminderung gemessen, aber keine Aussage zur Geschwindigkeitsreduktion	LfU Bayern (2003)

In 2 Fällen liegen lokale Geschwindigkeitsmessungen vor, in den restlichen Fällen basieren die Wirkungsaussagen auf Immissionsmessungen. Die Untersuchungen zeigen im Hinblick auf die Immissionsmessungen uneinheitliche Ergebnisse, die stark von den unterschiedlichen Straßen- und Verkehrsbedingungen geprägt sind. Eine Befolgungsrate der umgesetzten Maßnahmen lässt sich aus den Ergebnissen nicht ableiten.

T40 auf HVS (ID_MN 130)

Für die T40-Regelung in Stuttgart liegen von Brose (2016) Untersuchungsergebnisse zur Entwicklung der mittleren Geschwindigkeiten an einer Dauermessstelle vor.

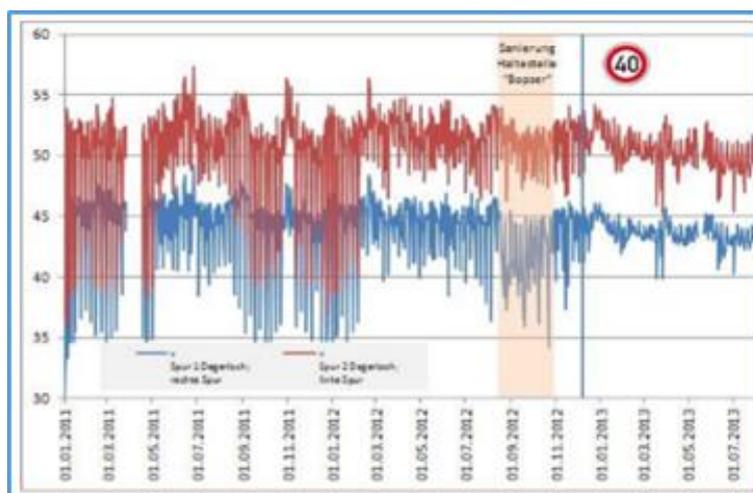


Abbildung 8-7: Entwicklung der mittleren Geschwindigkeiten nach Einführung von T40 statt T50 auf der Hohenheimer Straße in Stuttgart bergauf (blau: rechter Fahrstreifen, rot: linker Fahrstreifen).

Man erkennt, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit (T50) auf dem linken Fahrstreifen (rot) häufig überschritten wurde. Nach Einführung von T40 fand eine leichte Abnahme der mittleren Geschwindigkeiten statt. In den folgenden Monaten pendelte sich die Geschwindigkeit auf einem Niveau von etwa T50 ein.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wurde auch auf dem rechten Fahrstreifen (blau) nicht eingehalten.

Aus den Daten lässt sich eine Befolgungsrate nicht direkt ableiten. Es wird aber deutlich, dass die Einführung von T40 einen geschwindigkeitsdämpfenden Einfluss auf beiden Fahrstreifen gehabt hat.

T30 auf HVS nachts (ID_MN noch nicht festgelegt)

In **Jena** wurde im Rahmen der Lärmaktionsplanung 2009 für innerstädtische Bundesstraßen zwischen 22 Uhr und 6 Uhr eine Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h vorgesehen. Die Geschwindigkeitsmessungen 2010 erbrachten bei Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit um 20 km/h eine Reduktion der gefahrenen mittleren Geschwindigkeiten um 9 km/h (Spessert & Kühn, 2012). Eine Befolgungsrate wurde nicht explizit ermittelt. Die Geschwindigkeitsbeschränkungen wurden nach Vorlage des Schlussberichts der Untersuchung wieder aufgehoben, weil das Ziel einer ausreichenden Lärmimmissionsreduktion nicht erreicht worden war.

Geschwindigkeitskontrolle (ID_MN 102)

Im **Rahmen eines Großversuchs** wurden von der BASt die Auswirkungen einer Einrichtung von ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen auf Außerortsstraßen geprüft. Primäres Ziel war die Verbesserung der Verkehrssicherheit. Neben den Überwachungsanlagen wurden auch Straßen mit alternierenden Überholfahrstreifen getestet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Einrichtung der Überwachungsanlagen in Kombination mit den alternierenden Überholmöglichkeiten die Befolgungsrate der Geschwindigkeitsvorgaben deutlich verbesserte (BASt, 2013).

Bepreisung von Infrastruktur (City Maut, ID_NM 23) (Kloas & Voigt, 2012)

Die Einführung einer Citymaut als Maßnahme der Luftreinhaltung ist trotz vieler Diskussionen bis heute in Deutschland noch nicht realisiert worden. Bei einer Citymaut besteht die restriktive Maßnahme in der Erhebung einer Gebühr für die Einfahrt in ein definiertes Gebiet, meist die Innenstadt. Inwieweit Einfahrten ohne Zahlung stattfinden können, aus denen sich eine Befolungsrate ableiten würde, hängt von der technischen Lösung ab. Haupthürde in Deutschland ist jedoch die grundsätzliche Bereitschaft für deren Einführung.

Untersuchungen zu Mautsystemen im Ausland zeigen, dass ein Mautsystem mit dem Ziel, die Finanzmittel für die Instandhaltung oder Erweiterung der Straßeninfrastruktur“ zu generieren, eher akzeptiert wird gegenüber einem Mautsystem mit dem Ziel einer Reduktion des Straßenverkehrs in bestimmten Teilen eines Gebiets oder zu bestimmten Zeiten (Spitzenstunden) (Erdmenger, 2017), (Burris et al., 2017).

Multimodale Routingempfehlungen in Nürnberg (keine ID bisher vergeben) (DLR, 2017)

Im Projekt ORINOKO (DLR, 2017) wurde in einem Korridor in Nürnberg die Akzeptanz von adaptiven multimodalen Routingempfehlungen untersucht. Dazu wurden Akzeptanzuntersuchungen bei den Nutzern durchgeführt und Befolungsgrade des Verkehrsinformationsdienstes ermittelt. Die Ergebnisse waren zum Zeitpunkt des Abschlusses des Forschungsberichts noch nicht zugänglich.

Dynamisches Fahrverbot in Paris mit einer von der Kennzeichenummer abhängigen Fahrerlaubnis (SZ, 2016)

In Paris wurde ein dynamisches partielles Auto-Fahrverbot eingeführt: Autos mit gerader Kennzeichen-Endziffer dürfen nur an Tagen mit geradem Datum, mit ungerader Endziffer nur an Tagen mit ungeradem Datum in der Stadt fahren (Regime des "wechselnden Verkehrs" (circulation alternée)). Metro, Busse und Schnellbahnen können kostenlos genutzt werden.

Das Fahrverbot gilt nicht für alle, es gibt eine Reihe von Ausnahmen. In Voruntersuchungen wurde von einer Verkehrsreduktion durch die Maßnahme von 18 Prozent ausgegangen. Wie sich die Befolungsrate tatsächlich darstellt, ist unklar⁹. Die Immissionskonzentrationen gingen in den Tagen des Kennzeichenummer-abhängigen Fahrverbots nicht zurück, was vor allem an der Inversionswetterlage gelegen haben soll.

Ab dem 15. Januar 2017 gilt in Paris jetzt eine "zone à circulation restreinte". Danach dürfen nur noch Autos mit besonderen Schadstoff-Plaketten in der definierten Zone fahren. Über den erreichten Befolungsgrad sind bisher keine belastbaren Aussagen bekannt.

Dynamische Dieselfahrverbote

Verschiedene Städte in Europa haben Dieselfahrverbote als dynamische Maßnahme implementiert (u.a. Oslo, Hamburg, München und Stuttgart in Vorbereitung (RP, 2017)). Die Fahrverbote sind im Detail unterschiedlich, betreffen unterschiedliche Fahrzeuggruppen und weisen unterschiedliche Ausnahmeregelungen auf. Hinsichtlich der Befolungsrate wird in den ex-ante-Untersuchungen, die der Implementierung der Maßnahmen vorausgehen, stets von einer vollständigen Befolgung der Vorschriften ausgegan-

⁹ Zur Kontrolle wurden ca. 400 Polizeibeamte eingesetzt, das Bußgeld lag bei moderaten 22 Euro.

gen. Tatsächlich ist die reale Befolgungsrate, wie in Kapitel 8.1 ausgeführt, jedoch abhängig von der Überwachungsintensität und der Höhe der Strafe bei Nichtbefolgung. Dabei spielt die Kontrollmöglichkeit der Fahrzeuge eine wichtige Rolle. Belastbare Aussagen zur Befolgungsrate sind bisher nicht bekannt.

Zusammenfassung der vorliegenden Erkenntnisse

Restriktive Eingriffe in die Verkehrsordnung (Nutzungsgebühren, ordnungspolitische Maßnahmen, Maßnahmen des Verkehrsmanagements) reichen vom rein informativen Charakter bis zur gesetzlichen Verbindlichkeit. Akzeptanz und Befolgungsgrad eines solchen restriktiven Eingriffs in den Straßenverkehr hängen dabei von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab:

- Vorhandensein einer gesetzlichen Vorgabe.
- Ziele, die mit der Maßnahme verbunden sind.
- Art und Anzahl der direkt betroffenen Personen oder Personengruppen.
- Art und Anzahl von indirekt betroffenen Personen oder Personengruppen.
- Ausgestaltung der Maßnahme.
- Schwere des Eingriffs.
- Dauer des Eingriffs, (dauerhafte Maßnahme oder Beschränkung der Maßnahme auf ausgewählte Zeiten und ausgewählte Strecken).
- Information über den Eingriff.
- Bewusstsein der Bevölkerung über die Notwendigkeit des Eingriffs.
- Verständnis der Maßnahme durch einfache und zuverlässige Technik.
- Schrittweise Einführung der Maßnahme.
- Erfassung und Ahndung einer Missachtung der Maßnahme.
- Erfolg des Eingriffs im Sinne einer Verbesserung der Ausgangssituation.

Als Erkenntnis lässt sich festhalten, dass die Befolgung vorgeschriebener Verhaltensweisen im Verkehr maßnahmenabhängig ist, dass aber die Grundlagen für eine Prognose von Befolgung und Befolgungsraten nicht ausreichen, um generalisierende Aussagen zu treffen. In Planungen zum UVM kann jedenfalls bei restriktiven Maßnahmen nicht von einer Befolgungsrate von 100 % ausgegangen werden. Eine wesentliche Rolle bei Akzeptanz und sich daraus ableitender Befolgung und Befolgungsrate spielen die oben genannten Indikatoren.

Die Befolgungsrate ist auch im Hinblick auf die Wirkungsaussagen von Bedeutung, indem nicht alle Personen und Fahrzeuge von der jeweiligen Maßnahme betroffen sind.

9 Literatur

- Anke, K.; Sähn, E.; Klinger, M., 2002: Pilotprojekt zur Auswertung von Immissionsdatensätzen auf Basis von Screeningfunktionen. Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und Geologie Sachsen. Endbericht September 2002.
- BAST, 2013: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI) - Bewertung der Maßnahmen. Forschung kompakt, Bergisch-Gladbach 02/2013.
- BAST, 2017: Bundesanstalt für Straßenwesen (Marlis Datenbank): Bewertung von Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft und deren schadstoffmindernde Wirkung, Stand: 2017. Maßnahme (ID=160) Stadt Stuttgart, Eintrag vom 28.04.2017, Bergisch Gladbach. 2017.
- Brilon, W.; Wiebusch-Wothge, R., 2010: Abschalten des Motors vor Lichtsignalanlagen – Auswahlkriterien für technische Einrichtungen und Abschätzung des Emissionsminderungspotentials. Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen, Universität Bochum, 2010.
- Brose, G., 2016: Pressemitteilung des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg vom 9.10.2013; Hintergrundinformationen zur PM vom 09.10.2013. 2016.
- Burris, M.; Konduru, K.; Swenson, C., 2017: Journal of the Transportation Research Board TRB, Ausgabe Nr. 1864, National Research Council, Washington, D.C.2004 (zitiert in Forschungsinformationssystem des BMVI (FIS), 2017.
- Diegmann, V., 2013: Potentiale des Umweltorientierten Verkehrsmanagements - eine Übersicht. In: BAST; FGSV (Hrsg.): Luftqualität an Straßen 2013. Tagungsband. Kolloquium der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 20.-21.3.2013 in Bergisch Gladbach. 2013.
- Diegmann, V.; Pfäfflin, F.; Wursthorn, H., 2014: Bestandsaufnahme und Wirksamkeit von Maßnahmen der Luftreinhaltung. Umweltbundesamt, Texte 26/2014.
- Diegmann, V.; Wiegand, G., 2007: Potenzial dynamischer Verkehrslenkungsmaßnahmen als Instrument der Luftreinhaltung. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 67 Nr. 4, S. 155-161. 2007.
- DLR, 2017: DLR Institut für Verkehrsforschung: ORINOKO - Operative Regionale Integrierte und Optimierte Korridorsteuerung
http://www.dlr.de/vf/desktopdefault.aspx/tabid-958/4508_read-2854/4508_page-9/, abgerufen am 31.5.2017.
- Erdmenger, 2017: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/392> ... (abgerufen 01.12.10), zitiert in FIS Erdmenger, Chr., Hoffmann, Dr., Caroline, Frey, K.:Lambrecht, M., Wlodarski, W., 2017.
- FGSV-AK 1.7.5: Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung. Unveröffentlichtes Arbeitspapier zur „Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung, Stadtgeschwindigkeitskonzepte – Tempo 30 und mehr“. Stand 2017.

- FVT, 2013: Evaluierung der VBA-Umwelt Steiermark für den Betriebszeitraum 2011/2012. FVT Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Graz. Auftraggeber: Steiermärkische Landesregierung. 2013.
- FVT, 2016: Evaluierung der VBA-Umwelt Steiermark für den Betriebszeitraum 2015. FVT Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik mbH, Graz. Auftraggeber: Steiermärkische Landesregierung. 2016.
- Harupa, A.; Richard, J., 2014: Tempo 30: Eine Erfolgsbilanz durch integrierte Lärmaktionspläne. Das Beispiel Hennigsdorf, Springer-VDI-Verlag, 2014.
- Heinrichs, E., 2012: Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen, Planung, Umsetzung und Wirkungen. Vortrag am 13.11.2012.
- Hertel, O.; Berkowicz, R., 1989: Modelling NO₂ concentrations in a street canyon. DMU Luft A-131. National Environmental Research Institute, Division of Emissions and Air pollution, Denmark. 1989.
- Hoffmann, 2007: Statistische Modelle zur täglichen Prognose von Feinstaubkonzentrationen-Überblick der verfügbaren Systeme, Sensitivitätsstudie und Anwendungsprogrammierung für das System ProFet. Diplomarbeit zur Erlangung des Akademischen Grades Dipl.-Geograph an der TU Dresden, Institut für Geographie. Mai 2007.
- IG-L Steiermark, 2014: Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 29. Oktober 2014, mit der eine immissionsabhängige Geschwindigkeitsbeschränkung auf Teilstrecken der A 2 Süd Autobahn und der A 9 Pyhrn Autobahn angeordnet wird (VBA-Verordnung - IG-L Steiermark). Immissionsschutzgesetzes Luft (IG-L) Steiermark. LGBl. Nr. 117/2014.
- INFRAS, 2014: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 3.2. INFRAS AG, Bern. Auftraggeber: Umweltbundesamt, Berlin (Deutschland); Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (Schweiz); Umweltbundesamt, Lebensministerium und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien (Österreich); Trafikverket (Schweden); ADEME (Frankreich); SFT (Norwegen) und JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission). 2014.
- Jost, P. J., 1998: Effektivität von Recht aus ökonomischer Sicht. Duncker & Humblot, 1998.
- Kloas, J.; Voigt, U., 2012: Erfolgsfaktoren von City-Maut-Systemen; Wochenbericht Nr. 9/2007, 2. Bericht, S. 141, DIW Berlin, 2007 (zitiert in Forschungsinformationssystem des BMVI (FIS), erstellt am 16.04.2012).
- Kohlen, R.; Diegmann, V.; Mahlau, A., 2016: Weiterentwicklung des HBEFA-Verkehrssituationsschemas. Teilbericht zum Arbeitspaket 1 im Forschungsvorhaben „Ermittlung von Emissionsfaktoren von Kraftfahrzeugen unter Berücksichtigung zukünftiger Antriebskonzepte und der Vorkette von Kraftstoffen“, UFOPLAN FKZ 3713 47 100. Umweltbundesamt, 2016.
- KRdL, 2000: Umweltmeteorologie - Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung - Wind. VDI-Richtlinie 3786 Blatt 2. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2000.
- KRdL, 2010: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsprognose - Anlagenbezogener Immissionsschutz - Ausbreitungsberechnung gemäß TA Luft.

- VDI-Richtlinie 3783 Blatt 13. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2010.
- KRdL, 2013: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung - Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. VDI-Richtlinie 3783 Blatt 14. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2013.
- KRdL, 2016: Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 1. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss. Düsseldorf, 2016.
- Land Steiermark, 2016: Jahresbericht 2015. Luftgütemessungen in der Steiermark. Bericht Nr. Lu-08-2015. Amt der Steiermärkischen Landesregierung. 2016.
- LAU Sachsen-Anhalt, 2009: Durchführung von Verkehrserhebungen im Stadtgebiet der Lutherstadt Wittenberg. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt Luftüberwachungs- und Informationssystem (LÜSA). Kurzbericht von Hr. Bayer, 25.03.2009.
- LK Argus; VMZ, 2013: Evaluierung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen in Berlin. Wesentliche Erkenntnisse. LK Argus GmbH; VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH. Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin. 2013.
- Lohmeyer, 2006: Entwicklung eines Prognosemodells für Feinstaubkonzentrationen an verschiedenen Messorten des Luftüberwachungssystems Sachsen-Anhalt (LÜSA). Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70250-05-10. Bericht im Auftrag vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Außenstelle Magdeburg. Juni 2006.
- Lohmeyer, 2010: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 189, 2010.
- Ludes, G.; Siebers, B.; Kuhlbusch, T.; Quass, U.; Beyer, M.; Weber, F., 2010: Feinstaub und NO₂ - Entwicklung und Validierung einer Methode zur immissionsabhängigen dynamischen Verkehrssteuerung. Forschungsbericht 205 45 130. Abschlussbericht. Veröffentlichung 2010 in der Reihe UBA-Texte, Nr. 25/2010.
- Pfeiffer, M.; Gelau, C., 2002: Determinanten regelkonformen Verhaltens am Beispiel des Straßenverkehrs, Variablen der Norminternalisierung im Zusammenwirken mit Effekten polizeilicher Überwachungstätigkeit Sekundäranalyse von Daten eines Projekts zu Determinanten der Wirksamkeit polizeilicher Überwachung (N = 1.757), Projekt-Nr. FE 82.002/1987: „Objektive und subjektiv wahrgenommene Sanktionswahrscheinlichkeit und ihre Auswirkungen auf das Unfallgeschehen“ im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2002.
- Pfeiffer, M.; Hautzinger, H., 2001: Auswirkungen der Verkehrsüberwachung auf die Befolgung von Verkehrsvorschriften. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Mensch und Sicherheit, Bergisch Gladbach, 2001.
- RP, 2017: Regierungspräsidium Stuttgart (Hrsg.): Entwurf der 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans Stuttgart. Stuttgart, 2017.
- Spessert, B.; Kühn, B., 2012: Verringerung der Geräuschimmission an innerstädtischen Durchgangsstraßen durch Absenkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30

- km/h, Ernst Abbe Fachhochschule für Technik, Jena. Vortrag im Rahmen der Tagung „Tempo 30 – Chancen, Hindernisse, Erfahrungen“ Berlin 13.11.2012.
- Sturm, P.; Breser, C.; Boltze, M.; Laube, R.; Schade, J.; Schlag, B., 2012: Akzeptanz von Verkehrsmanagementmaßnahmen - Vorstudie. Auftrag des Bundesamts für Straßenbau (ASTRA), Bern, 2012.
- SZ, 2016: Bericht der Süddeutschen Zeitung vom 7. Dezember 2016 (Autor: Christian Wernicke, Paris). 2016.
- TA Luft, 2002: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. In der Fassung vom 24.07.2002. GMBI. Nr. 25 - 29, S. 511. 2002.
- UBA, 2007: Verbesserung der Umweltqualität in Kommunen durch geschwindigkeitsbeeinflussende Maßnahmen auf Hauptverkehrsstraßen. Forschungsbericht. UBA-Text 09/07. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau.
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3152.pdf
- UVM-EF-GK, 2015: Landeshauptstadt Erfurt, Stadtverwaltung (unter Mitwirkung von pwp-systems): Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Erfurt (UVE). Gesamtkonzept. Fortschreibung. Erfurt, 2015.
- VBA-IG-L, 2007: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung allgemeiner Kriterien für Verkehrsbeeinflussungssysteme gemäß Immissionsschutzgesetz-Luft (VBA-Verordnung - IG-L). In der Fassung vom 31.10.2007. BGBl. Nr. II 302/2007. 2007.
- Wannenmacher, E.; Teufelsbrucker, D.; Machata, K.; Schrammel, E., 1999: Sicherheitsverhalten von motorisierten Verkehrsteilnehmern. Erhebungen und Messungen. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Reihe Verkehr in Österreich, Wien 1999.
- Wermuth, M.; Wulff, S., 2008: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 169, 2008.