

Integrierter Aktionsplan Luft für die Stadt Kassel

Masterplan

Anhang 4

Machbarkeitsstudie zum Aufbau eines
umweltsensitiven Verkehrsmanagements
für die Stadt Kassel

Machbarkeitsstudie zum Aufbau eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements für die Stadt Kassel

Impressum

Stadt Kassel, documenta-Stadt
Obere Königsstraße 8
34112 Kassel

Kassel documenta Stadt

Erarbeitet durch

BELLIS GMBH
Taubenstraße 7
38106 Braunschweig



VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH
Ullsteinstraße 120, Turm C
12109 Berlin



IVU Umwelt GmbH Freiburg
Emmy-Noether-Straße 2
D-79110 Freiburg



Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Einführung	10
2. Beschreibung umweltorientiertes Verkehrsmanagement ...	12
2.1 Allgemeine Beschreibung	12
2.2 Technische Umsetzung eines umweltorientierten Verkehrsmanagements ...	13
2.2.1 Erfassung und Bearbeitung von Eingangsdaten	13
2.3 Verkehrsmanagementsystem	15
2.3.1.1 Schnittstellen	15
2.3.2 Verkehrsmonitoring	16
2.3.3 Umweltmonitoring und Vorhersage	17
2.3.3.1 Umweltmonitoring und Vorhersage mit IMMIS ^{mt}	17
2.3.3.2 Funktionsweise von IMMIS ^{mt}	18
3. Analyse der technischen Ausgangslage	25
3.1 Vorhandene Systeminfrastruktur	25
3.1.1 Zentralen	25
3.1.2 Dynamische Informationstafeln	28
3.1.3 Lichtsignalanlagen	28
3.1.4 Messstellen	28
3.1.5 Baustellen	30
3.1.6 Car2X	30
3.1.6.1 Forschungsprojekt VERONIKA	30
3.1.6.2 Forschungsprojekt UR:BAN - Ampelphasenassistent	31
3.2 Verkehrsmodell	31
3.3 Umweltsituation	33
3.3.1 Luftreinhalteplan	33
3.3.2 Messungen	34
3.3.3 Modellrechnungen	36
4. Erfordernisse zum Aufbau eines umweltorientierten Verkehrsmanagements	39
4.1 Grobkonzept einer umweltsensitiven Steuerung	39
4.2 Verkehrsmanagement	41

4.3	Verkehrsmonitoring.....	41
4.3.1	Verkehrsdetektion	42
4.3.2	Information zum aktuellen Verkehrszustand im Straßennetz	42
4.4	Umweltmonitoring	43
4.4.1	Straßennetz	43
4.4.2	Bebauungsdaten	43
4.4.3	Emissionsdaten	43
4.4.3.1	Punktquellen	44
4.4.3.2	Linienquellen	44
4.4.3.3	Flächenquellen	44
4.4.4	Versorgung mit dynamischen Daten	45
4.4.4.1	Verkehrsdaten aus Datenmanagementsystemen.....	45
4.4.4.2	Meteorologiedaten	45
4.4.4.3	Luftschadstoffdaten	46
4.4.4.4	Prognose-Meteorologiedaten	47
4.4.4.5	Prognose-Luftschadstoffdaten.....	47
4.4.5	Exportschnittstellen	48
4.4.5.1	Emissionsdaten	48
4.4.5.2	Immissionsdaten.....	48
4.4.5.3	Steuerungsparameter für das Verkehrsmanagement.....	48
4.4.5.4	Übertragung weiterer Daten an das Datenmanagementsystem	48
4.4.5.5	Implementierung	48
4.4.5.6	Systemvoraussetzungen	49
4.5	Planungen für Auslöse- und Aufhebekriterien.....	49
4.5.1	Grobplanung des Ablaufes einer umweltsensitiven Steuerung.....	49
5.	Konkretisierung und Ergänzung IVS-orientierter Maßnahmen.	51
5.1	Grobkonzept für eine umweltsensitive Steuerung.....	51
5.2	Grobplanung der Maßnahmen.....	51
5.2.1	Einführung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements	51
5.2.2	Einführung einer dynamischen Umweltsituation mit Prognose (Tag+1)	52
5.2.3	Information mittels App und virtuellen Schildern	53
5.3	Mögliche Maßnahmenschwerpunkte	53
5.3.1	Allgemeine Berechnungsgrundlagen nach HBEFA.....	54
5.3.2	Hotspot Brüderstraße (Altmarkt)	58
5.3.3	Hotspot Frankfurter Straße	60
5.3.4	Hotspot Fünffensterstraße	63

5.3.5	Hotspot Holländische Straße	65
5.3.6	Hotspot Schönfelder Straße	67
5.3.7	Hotspot Wolfhagener Straße	69
5.3.8	Hotspot Ysenburgstraße.....	71
5.4	Vernetzung von Fahrzeugen, Lichtsignalanlagen und Zentralen	73
5.4.1	Technische Umsetzung.....	73
5.4.1.1	Analyse der Ausgangslage	73
5.4.1.2	Ermittlung der Erfordernisse	73
5.4.1.3	Planungen zum technischen Aufbau.....	74
5.4.2	Maßnahmenplanung.....	74
5.4.3	Regelkreis zur Funktionskontrolle	75
5.5	Umweltorientiertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement	75
5.6	Bestandsaufnahme zu Mobilitätsangeboten und potentiell nutzbarer Daten.	76
5.7	Mobilitätsplattform	81
5.8	Mobilitätsinformationsdienste	82
6.	Modellrechnungen und Potentialabschätzungen.....	88
6.1	Modellrechnung zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkung der Maßnahmen	88
6.2	Modellrechnung zur Abschätzung der Wirkung auf die NO ₂ -Reduktion	89
6.2.1	Verfahren zur Erzeugung einer virtuellen stündlichen Zeitreihe der NO ₂ -Belastung in den Hotspots	89
6.2.2	Ermittlung des Wirkungspotenzials von temporären UVM-Maßnahmen.....	89
6.2.3	Abschätzung der Wirkung der Maßnahme bei ganzjähriger Aktivierung.....	90
6.2.4	Maßnahmenwirkung bei hoher Verkehrsbelastung	91
6.2.5	Ermittlung des Wirkungspotenzials der temporären UVM-Maßnahme 1	92
6.2.6	Ermittlung des Wirkungspotenzials der temporären UVM-Maßnahmen 1+2 ..	94
6.2.7	Potentialabschätzung für alle Hotspots mit Variation des Schwellenwerts ...	96
6.3	Potentialabschätzung der CAR2X- Kommunikation auf die NO ₂ -Belastung..	101
7.	Umsetzungs- und Kostenschätzungen	103
7.1	Bewertung der jeweiligen Umsetzungszeiträume	103
7.2	Überschlägliche Ermittlung der jeweiligen Umsetzungskosten der Maßnahmen.....	103
8.	Fazit.....	104
9.	Quellenverzeichnis.....	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Straßenabschnitte in Kassel für die im Luftreinhalteplan NO ₂ -Jahresmittelwerte für das Bezugsjahr 2008 angegeben werden und für die teilweise in (IVU Umwelt 2017) die Berechnungen für das Bezugsjahr 2013 aktualisiert wurden.	33
Tabelle 3-2:	Ausgewählte Eingangsdaten und Screeningergebnisse für den Basis-Fall	38
Tabelle 4-1:	Angaben statische Punktquellen	44
Tabelle 4-2:	Angaben statische Linienquellen	44
Tabelle 4-3:	Angaben statische Flächenquellen	44
Tabelle 4-4:	Abschnittsbezogene dynamische Eingangsdaten für IMMIS ^{mt} je Detektor/-gruppe	45
Tabelle 4-5:	Für die Berechnung notwendige Meteorologiedaten.....	46
Tabelle 4-6:	Dynamische Luftschadstoffmessdaten in halbstündlicher Auflösung	47
Tabelle 4-7:	Schematische Übersicht Gesamtstrategien (abstraktes Beispiel)	50
Tabelle 5-1:	Übersicht Kurz-Beschreibung der Hotspots.....	54
Tabelle 5-2:	Verkehrlicher Nullfall (DTV auf Grundlage VISUM Verkehrsmodell, LOS auf Grundlage FCD)	58
Tabelle 5-3:	Übersicht Hotspot Brüderstraße	60
Tabelle 5-4:	Übersicht Hotspot Frankfurter Straße	62
Tabelle 5-5:	Übersicht Hotspot Fünffensterstraße	63
Tabelle 5-6:	Übersicht Hotspot Holländische Straße	65
Tabelle 5-7:	Übersicht Hotspot Schönfelder Straße	67
Tabelle 5-8:	Übersicht Hotspot Wolfhagener Straße	69
Tabelle 5-9:	Übersicht Hotspot Ysenburgstraße	71
Tabelle 5-10:	ÖV-Linien in den einzelnen Hotspots.....	75
Tabelle 5-11:	Übersicht der Ladesäulen im Stadtgebiert von Kassel.....	78
Tabelle 6-1:	Verkehrliche Wirkungen der Verstetigung (Planfall 1)	88
Tabelle 6-2:	Verkehrliche Wirkungen (Planfall 2) und (Planfall 3).....	88
Tabelle 6-3:	Ergebnisse der Abschätzung der Wirkung der Maßnahme bei ganzjähriger Aktivierung auf den NO ₂ -Jahresmittelwert für die 3 Planfälle.....	90
Tabelle 6-4:	Liste ausgewählter Eingangsdaten und Ergebnisse der NO _x -Emissionsberechnung für die Spitzenstunde in den Hotspots für den Nullfall (NF) und Planfall 1	91
Tabelle 6-5:	Liste ausgewählter Eingangsdaten und Ergebnisse der NO _x -Emissionsberechnung für die Spitzenstunde in den Hotspot für den Nullfall (NF) und Planfall 3	92

Tabelle 6-6:	Analyse des Wirkungspotenzials bei einem Schwellenwert von 80 µg/m ³ als NO ₂ -Stundenmittelwert für den Hotspot Schönfelder Straße.....	92
Tabelle 6-7:	Analyse des Wirkungspotenzials bei einem Schwellenwert von 80 µg/m ³ als NO ₂ -Stundenmittelwert für den Hotspot Schönfelder Straße.....	94
Tabelle 6-8:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 90 µg/m ³ im Planfall 1.....	97
Tabelle 6-9:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 80 µg/m ³ im Planfall 1.....	97
Tabelle 6-10:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 70 µg/m ³ im Planfall 1.....	98
Tabelle 6-11:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 60 µg/m ³ im Planfall 1.....	98
Tabelle 6-12:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 90 µg/m ³ im Planfall 3.....	99
Tabelle 6-13:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 80 µg/m ³ im Planfall 3.....	99
Tabelle 6-14:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 70 µg/m ³ im Planfall 3.....	99
Tabelle 6-15:	Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 60 µg/m ³ im Planfall 3.....	100
Tabelle 6-16:	Ergebnisse der Abschätzung der Wirkung des Planfall 4 auf den NO ₂ -Jahresmittelwert.....	101
Tabelle 6-17:	Übersicht der LSA in den Hotspots	102
Tabelle 7-1:	Kostenschätzung UVM	103
Tabelle 7-2:	Kostenschätzung C2X.....	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Zeitreihe einer gemessenen NO ₂ -Konzentration in einem verkehrlichen Hotspot (rot) mit temporären Minderungen (grün) bei Überschreiten eines Schwellenwerts.....	12
Abbildung 2-2:	Datenfluss einer umweltorientierten Verkehrssteuerung innerhalb einer digitalisierten Verkehrssteuerung	13
Abbildung 2-3:	Übersicht der Informationsverteilung innerhalb eines UVM am Beispiel eines Sitraffic Scala Systems	14
Abbildung 2-4:	Fundamentaldiagramm - Bestimmung des Verkehrszustands gem. HBEFA.....	17
Abbildung 2-5:	Systemdesign des Gesamtsystems IMMIS ^{mt}	18
Abbildung 2-6:	Schema der Luftschadstoffmodellierung für ein Berechnungsintervall je Straßenabschnitt in IMMIS ^{mt}	19
Abbildung 2-7:	Beispiel Zeitreihengraphik - berechnete und gemessene NO ₂ -Immissionen	21
Abbildung 2-8:	Beispiel Zeitreihengraphik - Eingangsdaten Windrichtung und Windgeschwindigkeit	22
Abbildung 2-9:	Beispiel Zeitreihengraphik - Eingangsdaten Verkehrsdaten	22
Abbildung 2-10:	Beispiel Zeitreihengraphik - Anteile LOS	23
Abbildung 2-11:	Beispiel Zeitreihengraphik - Monatliche Zeitreihe der Tagesmittelwerte	23
Abbildung 2-12:	Kartendarstellung der mit IMMIS ^{mt} stadtweit modellierten NO ₂ -Immissionen auf den Straßenabschnitten des Verkehrsnetzes am Beispiel Braunschweig.....	24
Abbildung 3-1:	Geplante Nutzung von digitalen Testfeldern für das autonome und vernetzte Fahren (Darstellung noch ohne Einbindung PLS); Quelle: Stadt Kassel.....	26
Abbildung 3-2:	Beispielhafte Darstellung konsolidierte Systemarchitektur; Quelle: Stadt Kassel, aus Expertenworkshop "strategische Verkehrslenkung"	27
Abbildung 3-3:	Dauerzählstellen/Messquerschnitte (Bestand und Planung)	29
Abbildung 3-4:	Streckenbelastungen im Ist-Zustand und ihre Aufteilung auf Quell-/Ziel-, Binnen- und Durchgangsverkehr	32
Abbildung 3-5:	Karte der in Tabelle 3-1 aufgeführten Straßenabschnitte mit Angabe einer ID in Rot, mit der die Zuordnung zur Tabelle hergestellt werden kann.	34
Abbildung 3-6:	Zeitreihe der gemessenen NO ₂ -Jahresmittelwerte in Kassel (Daten vom UBA).....	35
Abbildung 3-7:	Messzeitreihe der NO ₂ -Stundenmittelwert von den beiden Messstationen in Kassel für 2017	36
Abbildung 3-8:	Messzeitreihe der NO ₂ -Stundenmittelwert von den beiden Messstationen in Kassel für den Januar 2017	36
Abbildung 4-1:	Zielsystem Verkehrssteuerung für Hotspots am Beispiel eines Concert/Scala Verkehrsrechners	41

Abbildung 4-2:	Allgemeiner Datenfluss der Verkehrslageberechnung	43
Abbildung 5-1	Zuordnungsfunktion (Prinzipdarstellung)	55
Abbildung 5-2:	HBEFA-Verkehrszustand 2017 - LOS 3	56
Abbildung 5-3:	HBEFA-Verkehrszustand 2017 - LOS 4	57
Abbildung 5-4:	Verkehrsstromanalyse Brüderstraße (Altmarkt)	59
Abbildung 5-5:	Verkehrsstromanalyse Frankfurter Straße.....	61
Abbildung 5-6:	Verkehrsstromanalyse Fünffensterstraße.....	64
Abbildung 5-7:	Verkehrsstromanalyse Holländische Straße	66
Abbildung 5-8:	Verkehrsstromanalyse Schönfelder Straße	68
Abbildung 5-9:	Verkehrsstromanalyse Wolfhagener Straße	70
Abbildung 5-10:	Übersicht Hotspot Ysenburgstraße	72
Abbildung 5-11	Übersicht Service Provider und Mobilitätsdaten.....	76
Abbildung 5-12	Scouter Stationen in Kassel (Quelle https://scouter.de/stationen/?city=34100)	79
Abbildung 5-13	Stattauto Stationen in Kassel (Quelle http://stattauto.net/).....	80
Abbildung 5-14	Nextbike Bikesharing in Kassel (https://www.nextbike.de/de/kassel/)	80
Abbildung 5-15	Ticketing	84
Abbildung 5-16	Reiseüberwachung	85
Abbildung 5-17	Aktueller Internetauftritt der Stadt Kassel - Verkehrsinformationen Kassel (Quelle: https://geoportal-kassel.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=75d37b8587404eb08c104deb92a86e6d)	86
Abbildung 5-18	Umsetzungsbeispiele Multimodaler Mobilitätsmonitor	87
Abbildung 6-1:	Zeitreihe der NO ₂ -Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 für das ganze Jahr 2017	93
Abbildung 6-2:	Zeitreihe der NO ₂ -Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 für den Monate Januar 2017	93
Abbildung 6-3:	Darstellung der Schwellenwertüberschreitungen pro Tag (Aktiv) und Aktivierungen der Maßnahme 2 ganztags (T Aktiv)	95
Abbildung 6-4:	Zeitreihe der NO ₂ -Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 + 2 für das ganze Jahr 2017.....	95
Abbildung 6-5:	Zeitreihe der NO ₂ -Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 + 2 für Januar 2017	96

Abkürzungsverzeichnis

AKS	<i>Ausbreitungsklassenstatistik</i>
ASP	<i>Application Service Provider</i>
AWAR	<i>Aufwirbelungs- und Abriebsemissionen</i>
B+R	<i>Bike+Ride</i>
BEFA 15	<i>serielles Datenübertragungssystem SITRANS-BEFA 15</i>
BMVI	<i>Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur</i>
CAMS	<i>Copernicus Atmosphere Monitoring Service</i>
DGM	<i>Digitales Geländemodell</i>
DWD	<i>Deutscher Wetterdienst</i>
ETA	<i>Eintreffprognose des ÖPNV, Estimatet Time of Arrivel</i>
FCD	<i>Floating Car Data</i>
HBEFA	<i>Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs</i>
HLUNG	<i>Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie</i>
IRK	<i>Intelligente Roadside Komponente</i>
IV	<i>Individualverkehr</i>
LOD-Modell	<i>3D-Gebäudemodell</i>
LOS	<i>Level of Service</i>
LSA	<i>Lichtsignalanlage</i>
LStZ	<i>Lichtsignalsteuerungszentrale (vergleichbar mit Verkehrsrechner)</i>
MAP-Daten	<i>Topographie-Daten</i>
MDM	<i>Mobilitäts Daten Marktplatz, Mobilitätsdaten Marktplatz</i>
MDS	<i>Metadatenserver</i>
MIV	<i>motorisierter Individualverkehr</i>
MTS-K	<i>Markttransparenzstelle für Kraftstoffe</i>
NCOM	<i>Funkverbindungsschnittstellen für Siemens C800 Gerätetypen</i>
OCIT-O	<i>Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems / Offene Schnittstellen für die Straßenverkehrstechnik (mit Outstations/Feldgeräten)</i>
ÖPNV	<i>Öffentlicher Personennahverkehr</i>
ÖV	<i>Siehe ÖPNV</i>
P+R	<i>Park+Ride</i>
PDMe	<i>Verkehrsabhängiges Steuerverfahren</i>
PLS	<i>Parkleitzentrale / Parkleitsystem</i>
Q _{Kfz}	<i>lokale Verkehrsstärke am Streckenabschnitt</i>
Q _{Lkw}	<i>lokaler Lkw-Anteil am Streckenabschnitt</i>
RSU	<i>Road Side Unit</i>
RSUZ	<i>Roadsideunitzentrale</i>

SLKW	<i>Schwer-LKW</i>
SPAT	<i>Signal Phase and Timing</i>
SRM	<i>Signal Request Message</i>
SSM	<i>Signal Status Message</i>
SUN	<i>Stadtwerke Union Nordhessen</i>
TVE	<i>Traffic Volume Engine</i>
UVM	<i>Umweltorientiertes bzw. umweltsensitives Verkehrsmanagement</i>
V_{Kfz}	<i>lokale Geschwindigkeit am Streckenabschnitt</i>
VSM	<i>Verkehrsmanagementzentrale</i>
VSR	<i>Verkehrsrechner- oder Zentrale</i>

1. Einführung

Diese Machbarkeitsstudie wurde im Rahmen der Erstellung des Projektes

„Integrierter Aktionsplan Luft für die Stadt Kassel - Masterplan“

erarbeitet und stellt eine Anlage zum genannten Masterplan dar.

Ziel ist die Erarbeitung einer konzeptionellen Grundlage für die Einrichtung eines netz-adaptiven und umweltsensitiven Verkehrsmanagements in der Stadt Kassel. Das Konzept erstreckt sich von einer verkehrsmengenabhängigen Steuerung unter Berücksichtigung einer umweltsensitiven Steuerung der Lichtsignalanlagen bis zur Verkehrslenkung inklusive der Verkehrsinformation mit dynamischen Anzeigetafeln und der Bereitstellung von Daten für eine App.

Es wurden Maßnahmen zur umfassenden Integration von Verkehrs- und Umweltdaten im Stadtgebiet von Kassel erarbeitet, die Grundlage für eine Situationsanalyse mit einer stadtweiten modellbasierten Verkehrs- und Umweltlage sind. Daraus werden strategische Maßnahmen möglichst zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte im gesamten Netz, insbesondere an Hotspots abgeleitet. Es werden weiterhin Möglichkeiten aufgezeigt, wie über die bestehenden Daten hinausgehenden Datengrundlagen einen Zusatznutzen für das UVM leisten können.

Im Rahmen der qualifizierten und quantifizierten Bewertung der Maßnahmen wurde ein System beschrieben, wie es bereits am Markt verfügbar und bekannt ist. Sofern der Fördergeber eine herstellernerneutrale Ausschreibung verlangt, müssen bei der Bearbeitung der Ausschreibung entsprechende Änderungen für eine herstellernerneutrale Anfrage vorgenommen werden.

Anmerkung:

Im Text wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet. Schadstoff-Konzentrationen werden gemäß der EU-Richtlinie auf ganze Stellen gerundet. Eine Überschreitung wird dann angenommen, wenn dieser gerundete Wert den erlaubten Grenzwert überschreitet.

Daraus folgt, dass z. B. bei NO₂ ein Jahresmittelwert von 40.4 µg/m³ auf 40 µg/m³ gerundet und damit nicht als Überschreitung des Grenzwertes gezählt wird. Dies wurde bei allen Berechnungen und Auswertungen berücksichtigt. Wegen der besseren Lesbarkeit wird im Text von der Anzahl der Überschreitungen von 40 µg/m³ gesprochen.

2. Beschreibung umweltorientiertes Verkehrsmanagement

2.1 Allgemeine Beschreibung

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

Zu unterscheiden sind beim Kfz-Verkehr statische und dynamische Maßnahmen. Als dynamische Maßnahme wird zur Senkung der Immissionsbelastungen an den Hotspots vermehrt auf das umweltsensitive Verkehrsmanagement (UVM) gesetzt, um die Eingriffe in den Verkehrsablauf auf solche Situationen zu beschränken, die hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten der Luftqualität besonders effektiv sind¹

Dabei wird berücksichtigt, dass die NO₂-Konzentrationen in Hotspots starken zeitlichen Schwankungen unterliegen und über ein temporäres Kappen von Immissionsspitzen eine UVM einen relevanten Beitrag zur Minderung des NO₂-Jahresmittelwerts leisten kann (siehe Abbildung 2-1).

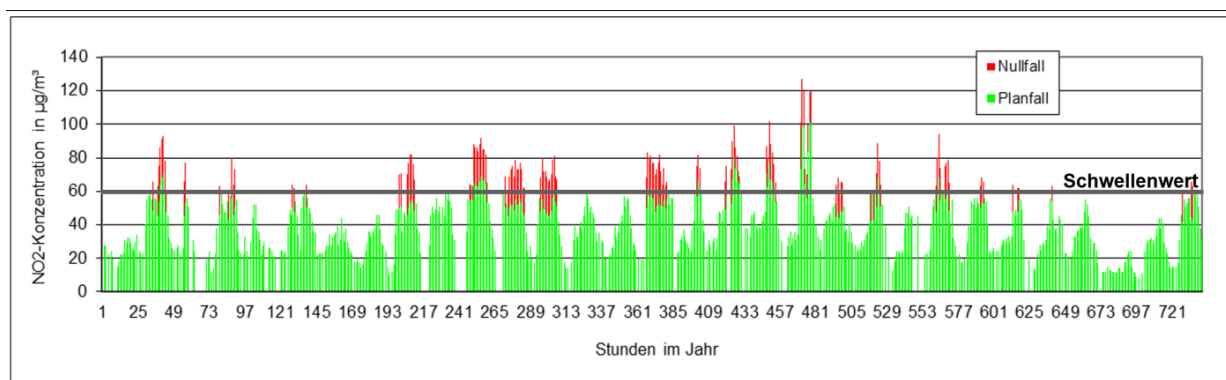


Abbildung 2-1: Zeitreihe einer gemessenen NO₂-Konzentration in einem verkehrlichen Hotspot (rot) mit temporären Minderungen (grün) bei Überschreiten eines Schwellenwerts

Für den Einsatz des UVM ist ein System erforderlich, das es erlaubt, die aktuelle und/oder zu erwartende Luftschadstoffbelastung zu bestimmen sowie die notwendigen Informationen für die Umsetzung von Steuerungsmaßnahmen bereitzustellen. Ein bereits vorhandenes dynamisches Verkehrsmanagement wird als UVM damit zu einem multikriteriellen Managementsystem erweitert. Um dies zu realisieren, wird im Allgemeinen an ein Verkehrsmanagementsystem ein sogenanntes Umweltmodul (Online-Prognosemodell) gekoppelt. Solche Prognosemodelle können dann auch zur aktuellen Information der Öffentlichkeit verwendet werden.

¹ (FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Arbeitsgruppe Straßenentwurf, 2014)

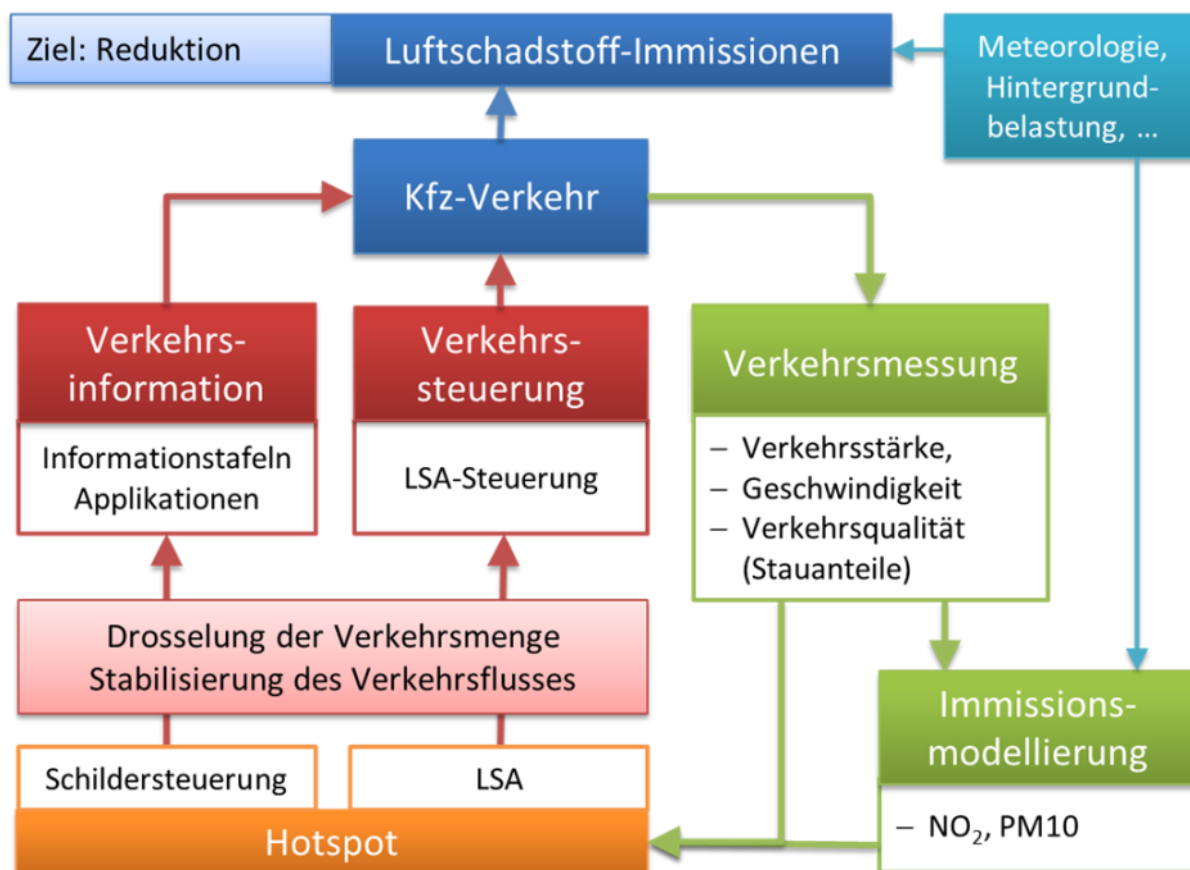


Abbildung 2-2: Datenfluss einer umweltorientierten Verkehrssteuerung innerhalb einer digitalisierten Verkehrssteuerung

Abbildung 2-2 zeigt den Datenfluss der umweltorientierten Verkehrssteuerung. Sie zeigt im rechten Bereich die mittels der errichteten Detektion erfassten Verkehrsdaten zu Verkehrsmenge, Geschwindigkeit und Verkehrsqualität (Stauanteile). Unter Beachtung der Meteorologie und der Hintergrundbelastung wird daraus die Immissionsbelastung für NO₂ und PM10 modellgestützt berechnet.

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

Das Gesamtsystem kann variabel an die lokalen Voraussetzungen und die verkehrs- und umweltpolitischen Zielsetzungen der Stadt angepasst werden. Das betrifft bspw. die Nutzung unterschiedlicher Datenquellen, einer unterschiedlichen Tiefe der verkehrlichen Eingriffe und dem Einsatz verschiedener Medien zur Information der Verkehrsteilnehmer.

Das nach Inbetriebsetzung des Systems begleitende Controlling bildet die geeignete Grundlage für die Erfolgskontrolle und ggf. Nachjustierung des Systems.

2.2 Technische Umsetzung eines umweltorientierten Verkehrsmanagements

2.2.1 Erfassung und Bearbeitung von Eingangsdaten

Wesentliche Voraussetzung für ein umweltorientiertes Verkehrsmanagement ist die Schaffung eines technischen Systems, das es ermöglicht, in Abhängigkeit von der aktuellen Im-

missionsbelastung in den Hotspots definierte Steuerstrategien zu schalten und darüber Einfluss auf die Verkehrsmenge und die Verkehrssituation zu nehmen sowie die Verkehrsteilnehmer zu informieren.

Durch stete Messung der Verkehrsstärke und der lokalen Geschwindigkeit mittels strategischer Messstellen sowie der Berechnung der stadtweiten Verkehrslage werden die verkehrlichen Grundlagen für die Immissionsmodellierung geschaffen. Im Ergebnis können drohende Überschreitungen von festgelegten Schwellenwerten der Verkehrs- und Luftschadstoffbelastung erkannt und der Befehl zur Auslösung der UVM-Schaltung an die integrierten Lichtsignalanlagen (LSA) übermittelt werden.

Auf dieser Grundlage und in Kombination mit weiteren Datenquellen können den Verkehrsteilnehmern umfassende Verkehrsinformationen bereitgestellt werden.

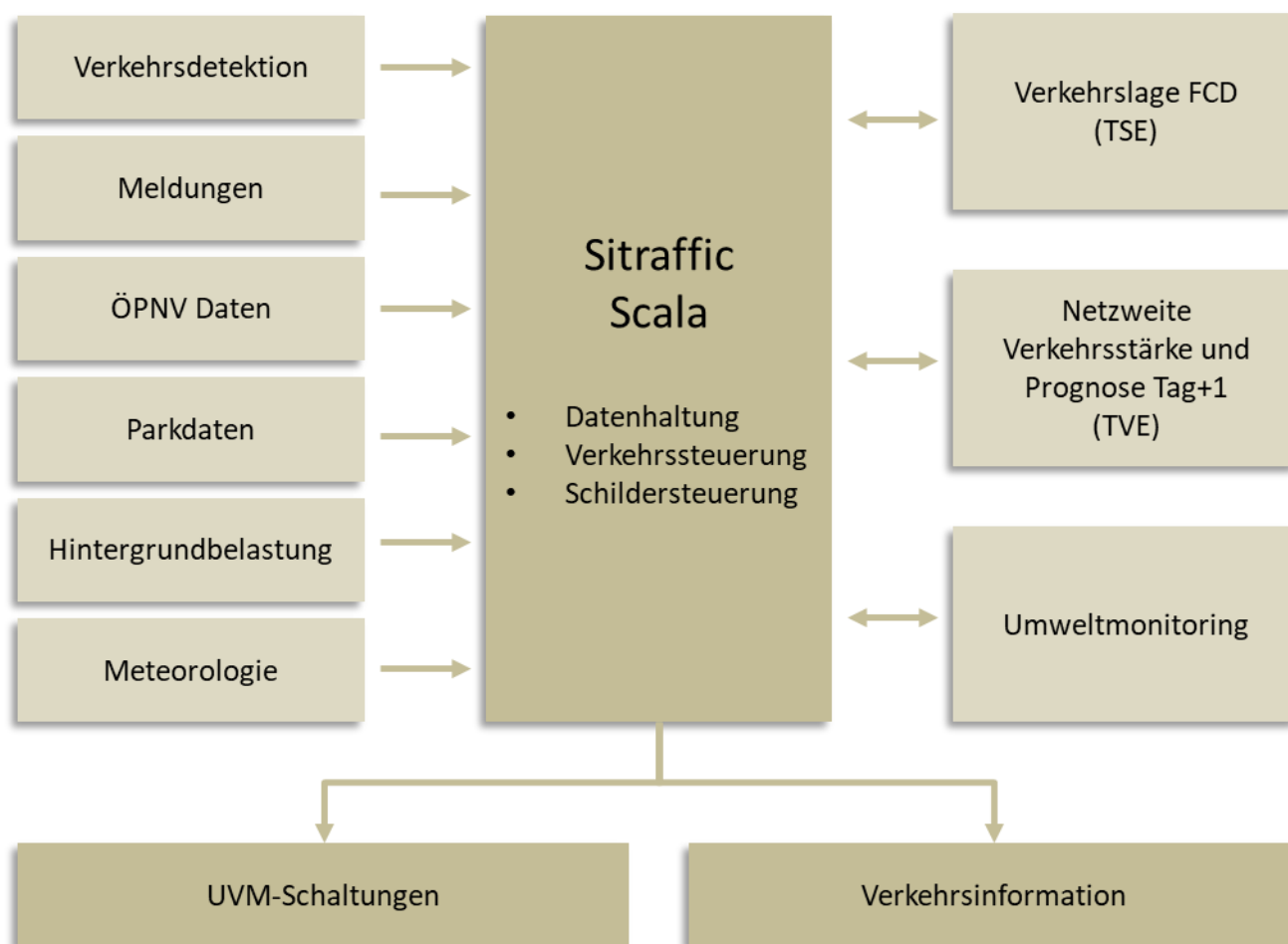


Abbildung 2-3: Übersicht der Informationsverteilung innerhalb eines UVM am Beispiel eines Sitraffic Scala Systems

Das zu entwickelnde System besteht aus drei Hauptkomponenten:

- Verkehrsmanagementsystem
- Verkehrsmonitoring
- Umweltmonitoring

Derzeit sind die folgenden für das UVM benötigten Funktionalitäten noch nicht in der Lichtsignalsteuerungszentrale (LStZ) (LStZ sind vergleichbar mit Verkehrsrechnern (VSR)) und der Verkehrsmanagement-Zentrale enthalten und müssen somit nachgerüstet werden:

- Modul zur Integration von Umfeldsensoren und Messstationen für umweltsensitive Daten
- Modul zur Integration von Verkehrslage- und Reisezeitdaten auf für das UVM Konzept ausgewählten Verkehrsstrecken
- Modul zur netzweiten Verkehrsstärke und Prognose (Tag+1)

2.3 Verkehrsmanagementsystem

Das Verkehrsmanagementsystem im Rahmen des UVM übernimmt die folgenden Aufgaben:

Erfassung des Verkehrs mit Detektoren / Messstellen

Durch die am System angeschlossenen Detektoren wird kontinuierlich an strategischen Punkten der Stadt die Verkehrsmenge und -lage erfasst.

Für die weitere Verwendung werden die Verkehrsdaten gesammelt, aufbereitet und bilden damit die Grundlage für die weitere Umsetzung strategischer Maßnahmen.

Die aktuellen Verkehrsdaten werden über lokale Verkehrsmessstellen erhoben. Mittels dieser Messstellen werden die Verkehrsstärke, getrennt nach Pkw und Lkw, sowie die lokale Geschwindigkeit erfasst.

Datenmanagement zwischen den Systemen

Die Ergebnisse der Detektion, weiterer externen dynamischer Datenquellen, sowie die der anderen Komponenten werden im Verkehrsmanagementsystem gesammelt. Die gesammelten Daten stehen für die weiteren Schritte online und als Archiv zur Verfügung

Die Maßnahmensteuerung

Basierend auf den Ergebnissen des Umweltmonitoring und unter Berücksichtigung der Verkehrslage können geeignete netz- oder gebietsbezogene Maßnahmen der Verkehrsführung und -steuerung mit unterschiedlicher Eingriffsschwere ausgewählt und geschaltet werden.

Dies kann manuell oder automatisiert auf Basis vorher festgelegter Logiken geschehen. Möglich sind strategische und lenkende Eingriffe, wie zum Beispiel Änderungen in der innerstädtischen Verkehrssteuerung und der Verkehrsinformation.

2.3.1.1 Schnittstellen

Für den Aufbau des Monitoringsystems und der Verteilung von Informationen und Entscheidungen müssen Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemen erweitert und implementiert werden. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten Verkehrsmonitoring, Umweltmonitoring und Verkehrsmanagement muss für die erforderlichen Datenflüsse sichergestellt werden:

Netzbezogene Daten:

- Verkehrsmengen
- Verkehrsqualität
- Verkehrsemissionen
- Immissionen

Gebietsbezogene Daten zu:

- Detektorwerte
- Meteorologie
- Vorbelastung

2.3.2 Verkehrsmonitoring

Das Verkehrsmonitoring ist fester Bestandteil des gesamten Verkehrs- und Informationsmanagementsystems. Darin sind alle Prozesse der Datenerfassung, Datenaufbereitung, Datenübertragung sowie der operativen Steuerung und Information zusammengeführt und geregelt.

Die Rohdaten aus den Verkehrsmessstellen werden zu Halbstundenwerten aggregiert, die aktuelle Verkehrssituation bestimmt und über eine Schnittstelle dem Umweltmodul zur Verfügung gestellt.

Die Grundlage für die Ableitung der Verkehrssituation bildet das Fundamentaldiagramm des Verkehrs, welches den Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Geschwindigkeit darstellt (s. Abbildung 2-4). Dabei erfolgt die Bestimmung der Verkehrssituation nicht nach verkehrlichen Aspekten, sondern nach umweltrelevanten Aspekten entsprechend dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)².

Für die Ableitung der netzweiten Kfz-Verkehrsstärken ist ein stundenfein aufgelöstes und um die Samstage, Sonn- und Feiertage ergänztes Verkehrsmodell für das Hauptverkehrsstraßennetz zu entwickeln. Als Grundlage hierfür kann das bestehende Verkehrsmodell der Stadt Kassel genutzt werden, das gegenwärtig werktägliche Verkehrsstärken abbildet.

Das Modul Traffic Volume Engine (TVE) berechnet automatisch auf Basis dieses neuen Verkehrsmodells unter Zuhilfenahme der Messdaten der lokalen Verkehrsmessstellen sowie von Meldungen die stündlichen Verkehrsstärken auf dem Hauptverkehrsstraßennetz und überträgt die Ergebnisse in den Verkehrsrechner.

Für die Ableitung des netzweiten Verkehrszustands entsprechend HBEFA werden zusätzlich Floating-Car-Data (FCD)- genutzt, die dafür mit den lokalen Messdaten fusioniert werden.

² (INFRAS AG; MK Consulting GmbH; TU Graz, 2017)

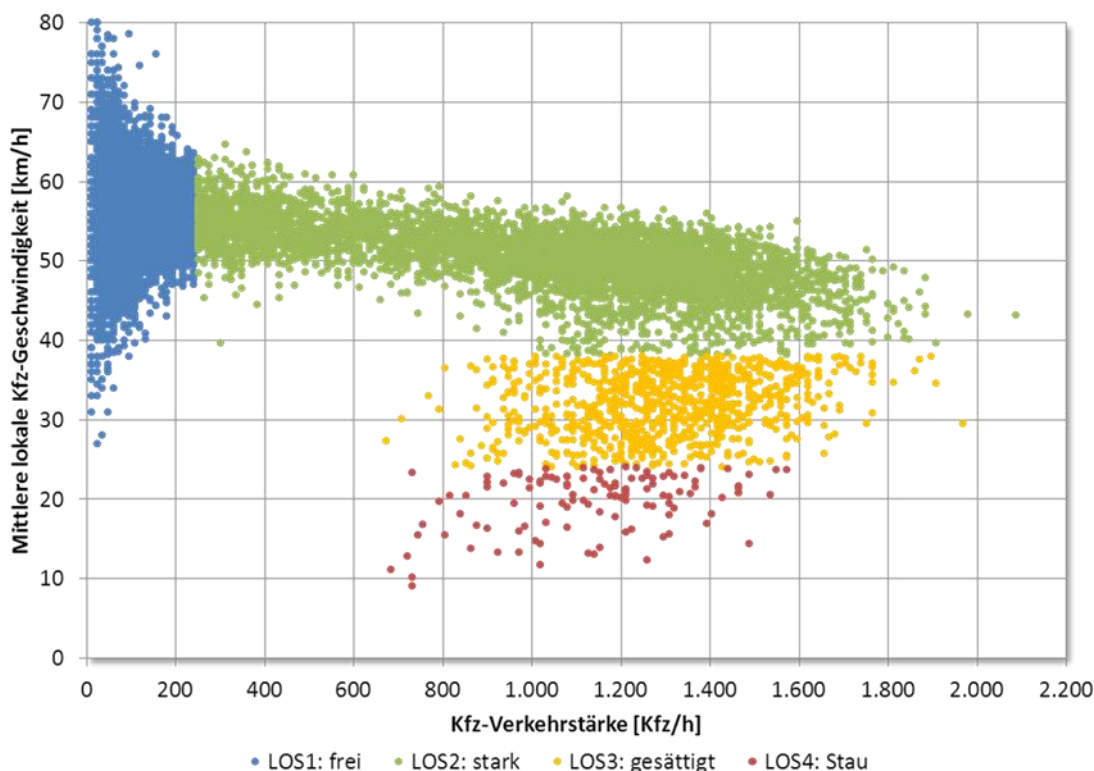


Abbildung 2-4: Fundamentaldiagramm - Bestimmung des Verkehrszustands gem. HBEFA

Für die Vorabinformation der Verkehrsteilnehmer über zu erwartende Umweltschaltungen am Folgetag ist ein Prognosemodul für die stündlichen Verkehrsstärken und den Verkehrszustand in den Hotspots am Folgetag erforderlich. Dieses Modul liefert wesentliche Eingangsdaten für die Prognose der Luftschadstoffkonzentrationen am Folgetag und damit für die Ableitung zu erwartender Umweltschaltungen.

2.3.3 Umweltmonitoring und Vorhersage

2.3.3.1 Umweltmonitoring und Vorhersage mit IMMIS^{mt}

IMMIS^{mt} ist ein Monitoring-System zur stadtweiten Überwachung der Luftschadstoff- und Lärmbelastung in Echtzeit. Auf der Basis von aktuellen oder prognostizierten Verkehrsdaten, Schadstoffmesswerten und Wetterdaten berechnet IMMIS^{mt} Kfz-Emissionen, Hintergrundkonzentrationen und die Immissionen sowie die Lärmbelastung im Straßenraum z. B. in halbstündlicher oder stündlicher Auflösung (Berechnungsintervall). Das Gesamtsystem mit seinen einzelnen Modulen und Schnittstellen ist in Abbildung 2-5 schematisch dargestellt.

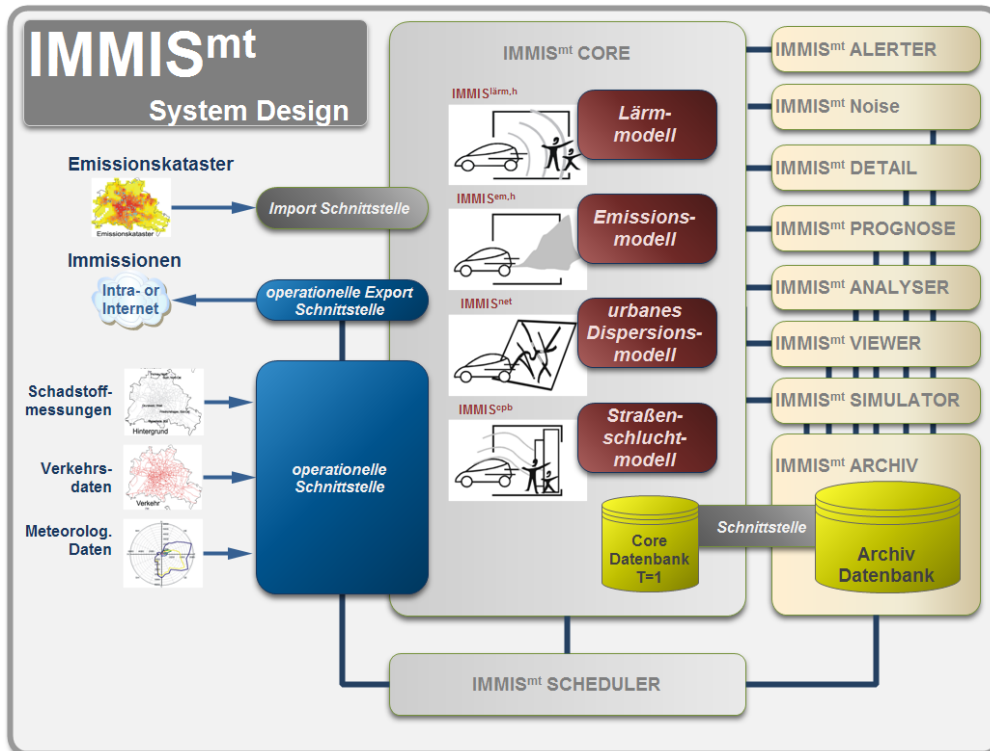


Abbildung 2-5: Systemdesign des Gesamtsystems IMMIS^{mt}

IMMIS^{mt} besteht für den geforderten Anwendungsbereich der Luftschadstoffbelastung aus mehreren, innerhalb der Luftreinhalteplanung validierten, Computermodellen, die optimal aufeinander abgestimmt in IMMIS^{mt} integriert sind und in Kapitel 2.3.3.2 näher beschrieben werden. Die Modelle berechnen die aktuellen Kfz-Emissionen und Immissionsbelastungen im Stadtgebiet. Die dazu benötigten Eingangsdaten werden über verschiedene statische und dynamische Importschnittstellen in das IMMIS^{mt}-System integriert. Über Exportschnittstellen können die berechneten Emissionen und Immissionen und weitere Steuerungsparameter, z. B. bei Überschreitung von Schwellwerten, an ein Datenmanagementsystem übertragen werden.

Das Basis-Modul von IMMIS^{mt} kann mit verschiedenen optionalen Modulen erweitert werden.

Sowohl ausgewählte Eingangsdaten als auch berechnete Ergebnisse können mit dem Modul IMMIS^{mt}-Archiv in einer Archiv-Datenbank abgelegt, mit dem Modul IMMIS^{mt}-Viewer grafisch dargestellt und mit dem Modul IMMIS^{mt}-Analyser statistisch ausgewertet werden.

Das Prognosemodul von IMMIS^{mt} (siehe folgendes Kapitel) bietet die Möglichkeit, die stadtweite Luftschadstoffbelastung für verschiedene Prognosehorizonte vorherzusagen.

Mit dem Lärmmodul IMMIS^{mt}-Lärm kann zusätzlich zur stadtweiten Luftschadstoffbelastung auch der Lärmpegel berechnet werden.

Darüber hinaus ist ein Zusatzmodul IMMIS^{mt}-Detail für eine flächenhafte Darstellung der Immissionen an ausgewählten Hotspots und das Modul IMMIS^{mt}-Simulator zur Offline-Simulation von Planfällen verfügbar.

2.3.3.2 Funktionsweise von IMMIS^{mt}

Luftschadstoffmodellierung

Das Luftschadstoffmodul des Programmsystems IMMIS^{mt} besteht aus den folgenden Teilmodellen:

- $IMMIS^{em/h}$ - zur Berechnung der verkehrsbedingten Schadstoffemissionen im Hauptverkehrsstraßennetz
- $IMMIS^{net}$ - zur Bestimmung der Vorbelastung im Straßenraum aus den umliegenden städtischen Quellen (vornehmlich Kfz-Verkehr und eventuell weiterer vorhandener Katasterinformationen). Zusätzlich kann $IMMIS^{net}$ die flächenhafte Schadstoffbelastung für das gesamte Stadtgebiet berechnen.
- $IMMIS^{cpb}$ - zur Bestimmung der Schadstoffbelastung im Straßenraum

Das Modell $IMMIS^{em/h}$ berechnet, basierend auf dem aktuellen Handbuch für Emissionsfaktoren HBEFA 3.3³ und der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7⁴, die Emissionen des Straßenverkehrs. Ergänzt wird die Emissionsberechnung in $IMMIS^{em/h}$ um ein Modell zur Abbildung von Kaltstartzuschlägen entsprechend der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 und ein Modul zur Berechnung der Aufwirbelungs- und Abriebsemissionen von PM10 und PM2.5. Sobald eine neue Version des HBEFA veröffentlicht wird, wird IVU Umwelt im Rahmen der Programmpflege zeitnah eine neue Version von $IMMIS^{em/h}$ erstellen und in $IMMIS^{mt}$ integrieren.

Die Berechnung des städtischen Anteils der Vorbelastung für die einzelnen Straßen erfolgt mit dem Modell $IMMIS^{net5}$. $IMMIS^{net}$ ist ein immissionsklimatologisches Ausbreitungsmodell zur Berechnung der flächenhaften Luftschadstoffbelastung. Das Modell beschreibt den stationär behandelten Prozess der Verdünnung und des Transports von Schadstoffen aus Punkt-, Linien- oder Flächenquellen unter der Annahme einer Gaußschen Normalverteilung. Als Quelldaten werden die halbstündlichen Emissionen des Hauptstraßenverkehrs aus $IMMIS^{em/h}$ sowie die weiteren städtischen Quellarten aus statischen Emissionskatastern verwendet.

Die Luftschadstoffbelastung im Straßenraum wird mit dem Programm $IMMIS^{cpb6}$ berechnet. Das Programm $IMMIS^{cpb}$ modelliert die Luftschadstoff-Immissionen des Verkehrs in Straßenschluchten. Es ermöglicht die Berechnung von Halbstundenwerten der Immissionsbelastung an beliebigen Punkten im Straßenraum mit auf beiden Seiten unterschiedlichen Bebauungshöhen. Durch eine entsprechende Erweiterung können auch Immissionen für Straßenräume mit Baulücken berechnet werden. $IMMIS^{cpb}$ ist das Grundlagenmodell für das Screening-Programm $IMMIS^{luft}$.

Der Ablauf der Berechnung der Luftschadstoffbelastung wird durch die folgende Abbildung skizziert.



Abbildung 2-6: Schema der Luftschadstoffmodellierung für ein Berechnungsintervall je Straßenabschnitt in $IMMIS^{mt}$

³ (INFRAS AG; MK Consulting GmbH; TU Graz, 2017)

⁴ (KRdL, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss, 2003)

⁵ (IVU Umwelt GmbH Handuch IMMIS, 2017)

⁶ (R.J.Yamartino & G.Wiegand, 1986)

Berechnete Größen

In IMMIS^{mt} können alle motorbedingten Emissionskenngrößen, für die das HBEFA Emissionsfaktoren bereitstellt, berechnet werden. Zusätzlich können Aufwirbelungs- und Abriebemissionen (AWAR) von PM10 und PM2.5 berechnet werden. Damit können die hier geforderten Emissionen für die Schadstoffe NO_x, NO₂, CO₂, PM10 und PM2.5 und die PM-Emissionen als Gesamtemissionen sowie getrennt nach motorbedingten Emissionen und Aufwirbelung und Abrieb ausgegeben werden. Für Ozon gibt das HBEFA keine Emissionsfaktoren an, auf Anforderung können aber kostenfrei die Emissionen für weitere Schadstoffe wie z.B. die Ozon-Vorläuferstoffe NMHC ausgegeben werden.

Die stadtweiten Immissionen werden für die Schadstoffe NO_x, NO₂, PM10 und PM2.5 berechnet. Die Ozonbelastung im Straßenraum ergibt sich aus der Berechnung der NO₂-Konzentrationen unter Berücksichtigung der Photochemie.

IMMIS^{mt} bietet die Möglichkeit Schwellwerte für einzelne Messstellen, Straßenzüge, Netzbereiche oder das Gesamtnetz zu definieren. Basierend auf diesen Schwellwerten können dann ggf. Steuerungsparameter an das Datenmanagementsystem übertragen werden, die z.B. zum Auslösen von Maßnahmen verwendet werden können.

Prognosemodul

Mit dem Prognosemodul von IMMIS^{mt} kann die Luftschadstoffbelastung, z. B. in halbstündlicher oder stündlicher Auflösung, prognostiziert werden.

Das Prognosemodul verwendet die gleichen Methoden und Werkzeuge wie das Monitoringssystem.

Das IMMIS^{mt}-Prognose-Modul verfügt über zwei Prognosehorizonte, die Kurzfrist- und die Mittelfristprognose. Halbstündlich oder stündlich wird eine Kurzfristprognose erstellt. Dabei werden die verkehrsbedingten Emissionen und die voraussichtlichen Immissionen für die folgenden Prognoseintervalle (Halbstunden bzw. Stunden) berechnet.

Zusätzlich wird täglich eine Mittelfristprognose berechnet, bei der die verkehrsbedingten Emissionen und Immissionen für alle Stunden des aktuellen und des folgenden Tags und als Tagesmittelwert prognostiziert werden.

Für den Prognosemodus von IMMIS^{mt} werden als Eingangsdaten der Modellierung Vorhersagen für meteorologische Daten, Schadstoffkonzentrationen und Verkehrsdaten anstelle von aktuell gemessenen Daten verwendet.

Die Prognose-Eingangsdaten können für die Kurzfristprognose entweder intern in IMMIS^{mt} mit einem Regressionsmodell berechnet oder von externen Verfahren (z. B. Verkehrsprognose, Wettervorhersage und regionale Schadstoffausbreitungsmodelle) über Datenschnittstellen in IMMIS^{mt} integriert werden. Für die Mittelfristprognose sind externe Prognosedaten erforderlich, die aber beispielsweise durch den Deutschen Wetter Dienst (DWD) und den (Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) frei verfügbar sind.

Synchronisation der Datenflüsse

IMMIS^{mt} führt eine Modellierung durch, sobald die Verkehrsdaten, Umweltdaten und Meteorologischen Daten für den aktuellen Berechnungszyklus vollständig vorhanden sind. Daher ist für jede Datengruppe auf eine zeitnahe Bereitstellung zu achten. Die Dauer der Berechnung innerhalb von IMMIS^{mt} hängt von der Anzahl der Straßenabschnitte ab für die Immissionen berechnet werden sollen. Das System ist grundsätzlich in der Lage, über 10'000 Abschnitte pro Berechnungszyklus zu berechnen. Die Weitergabe der Ergebnisse an das Verkehrsmanagementsystem erfolgt unmittelbar nach der Modellierung. Verzögerungen bei der Bereitstellung einzelner Datentypen können dazu führen, dass für den aktuellen Zeitschritt keine Berechnungen durchgeführt werden.

Visualisierung

Werden die Ergebnisse und Eingangsdaten in einer Archiv-Datenbank abgelegt, so können diese mit dem Modul IMMIS^{mt}-Viewer als Zeitreihe dargestellt werden. Die folgenden Abbildungen zeigen Beispiele möglicher Zeitreihengrafiken. Abbildung 2-7 zeigt eine Zeitreihe berechneter und gemessener NO₂-Immissionen. Abbildung 2-8 zeigt eine Graphik der Eingangsdaten wie Windrichtung und Windgeschwindigkeit, möglich sind ebenfalls unter anderem Zeitreihen zu Verkehrsdaten (Anzahl Kraftfahrzeuge (KFZ) und Schwer-LKW (SLKW), vgl. Abbildung 2-9) sowie die Anteile der Level of Service (LOS) (Abbildung 2-10), die mit dem IMMIS^{mt}-Viewer erzeugt wurden.

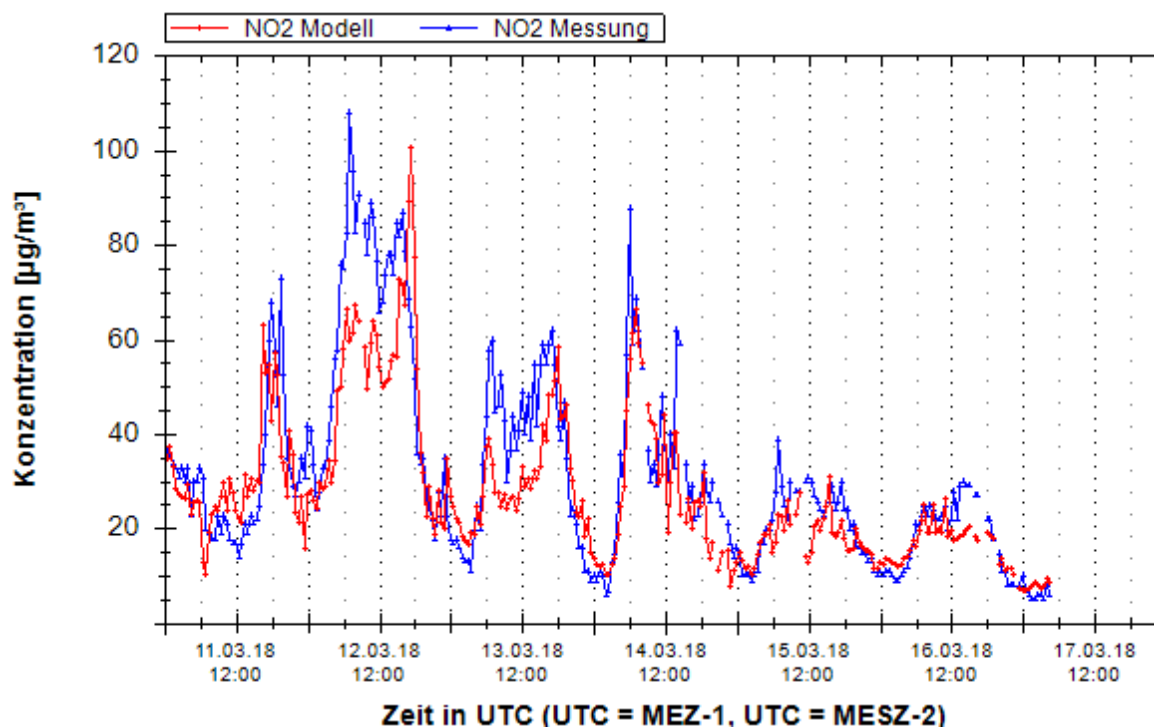


Abbildung 2-7: Beispiel Zeitreihengraphik - berechnete und gemessene NO₂-Immissionen

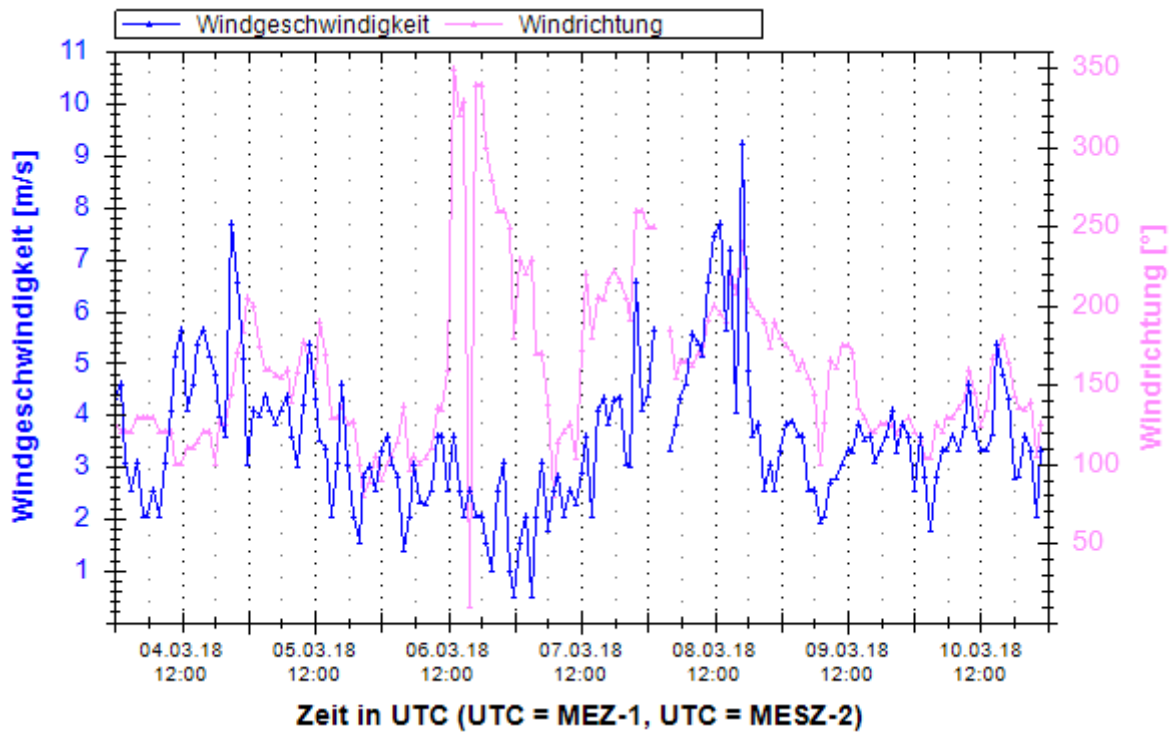


Abbildung 2-8: Beispiel Zeitreihengraphik - Eingangsdaten Windrichtung und Windgeschwindigkeit

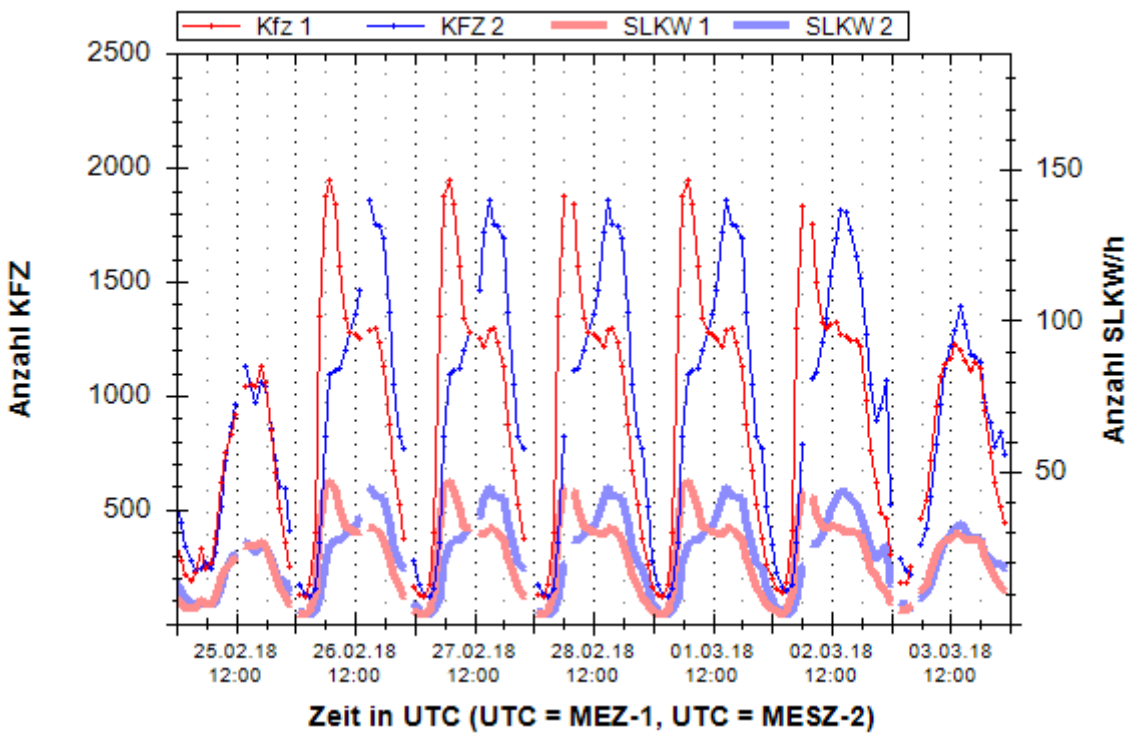


Abbildung 2-9: Beispiel Zeitreihengraphik - Eingangsdaten Verkehrsdaten

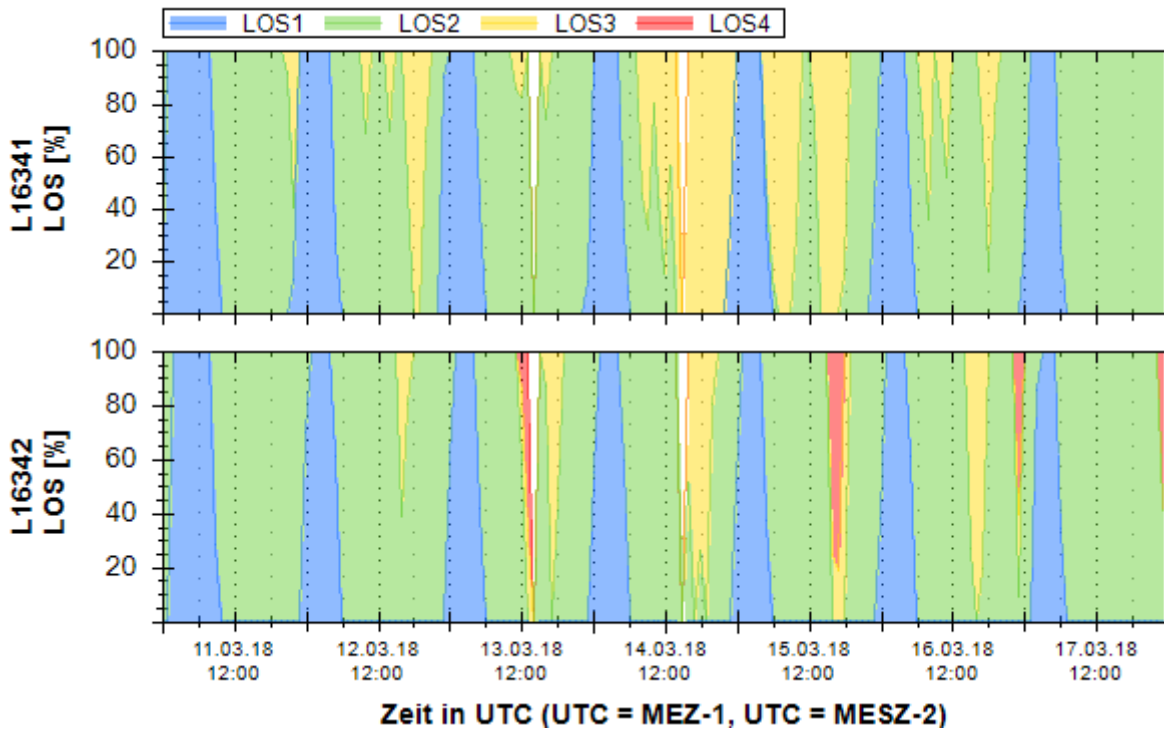


Abbildung 2-10: Beispiel Zeitreihengraphik - Anteile LOS

Neben der Darstellung von Zeitreihen halbstündlicher bzw. stündlicher Daten können ebenfalls monatliche Zeitreihen der Tagesmittelwerte und jährliche Zeitreihen der Monatsmittelwerte erzeugt werden, siehe folgende Abbildung 2-11.

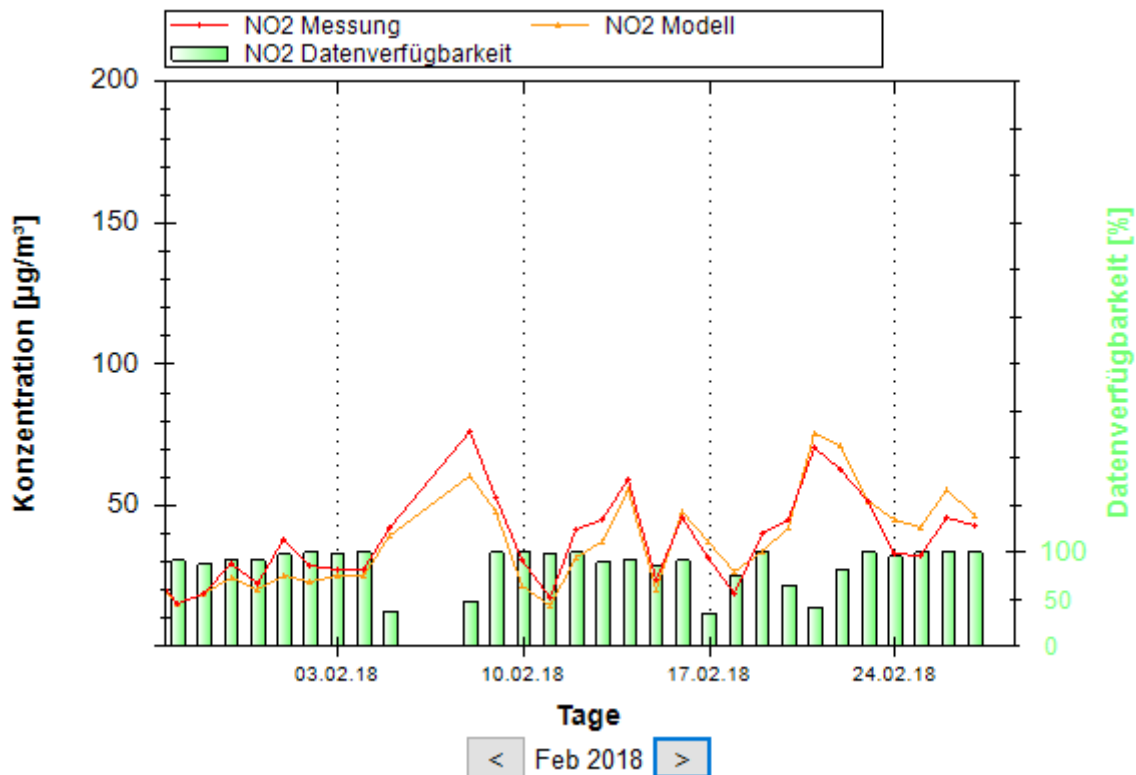


Abbildung 2-11: Beispiel Zeitreihengraphik - Monatliche Zeitreihe der Tagesmittelwerte

Die Eingangsdaten und Ergebnisse der Berechnungen können mit dem IMMIS^{mt}-Viewer zusätzlich auf einer Webseite visualisiert werden. Dabei werden die Grafiken automatisch nach erfolgter Berechnung auf eine Webseite geladen. Neben der Zeitreihendarstellung können die berechneten Immissionen stadtweit bezogen auf das Straßennetz als Karte dargestellt werden. Abbildung 2-12 zeigt dies am Beispiel der modellierten NO₂-Gesamtbelastung. Neben den modellierten Immissionen der verschiedenen Schadstoffe können auch Verkehrsdaten (wie z. B. Gesamtzahl KFZ, Anteil schwerer Nutzfahrzeuge, LOS4) dargestellt werden.

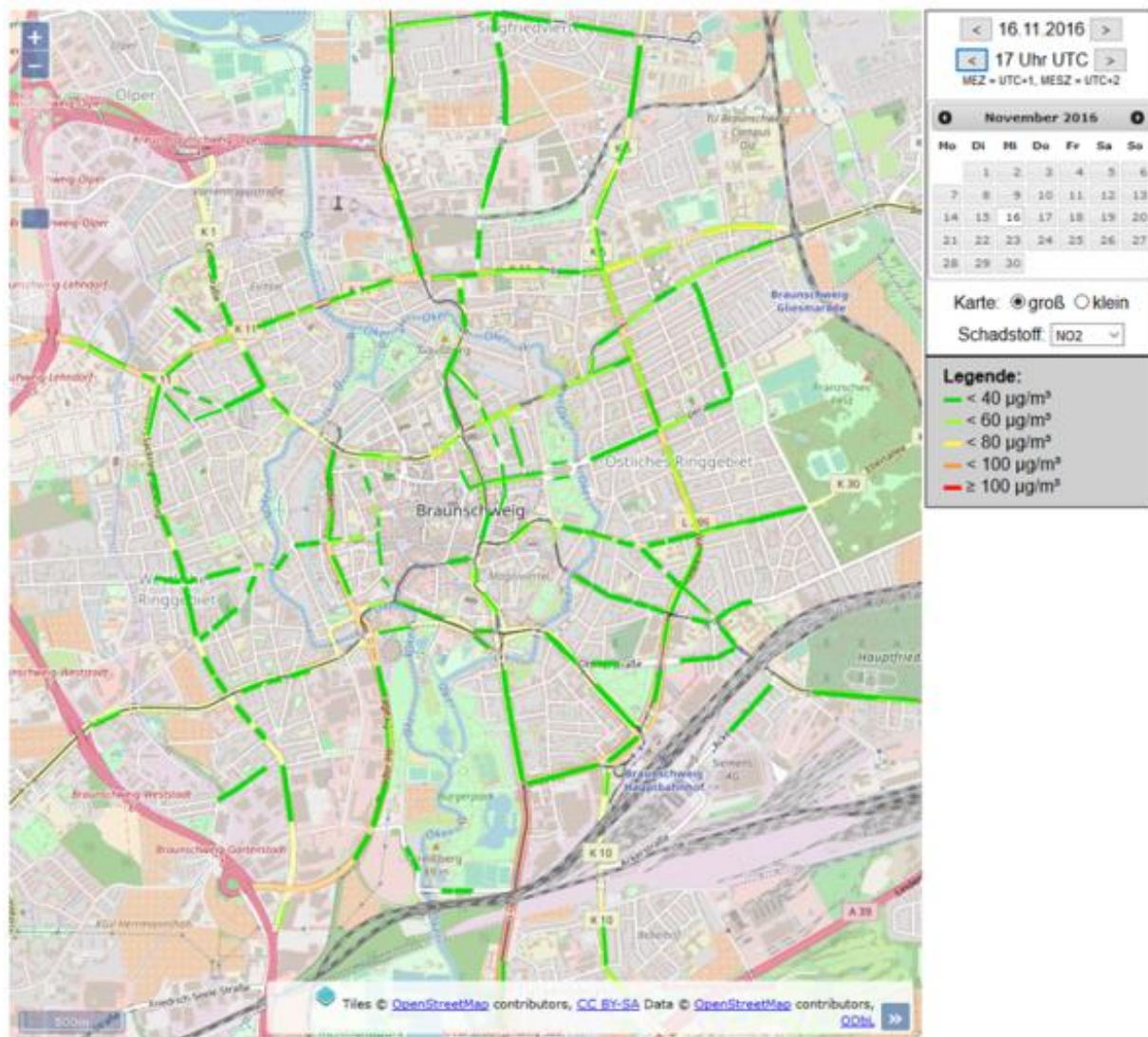


Abbildung 2-12: Kartendarstellung der mit IMMIS^{mt} stadtweit modellierten NO₂-Immissionen auf den Straßenabschnitten des Verkehrsnetzes am Beispiel Braunschweig

3. Analyse der technischen Ausgangslage

3.1 Vorhandene Systeminfrastruktur

3.1.1 Zentralen

In der Stadt Kassel wurden - insbesondere im Kontext der aktuell laufenden Projekte - bereits intensive Architekturdiskussionen geführt und eine klare Vorstellung entwickelt, wie die zukünftige Systemlandschaft des kooperativen Verkehrsmanagements in Kassel auszu- sehen hat. Die einzelnen Zentralen werden im Folgenden kurz vorgestellt:

- Verkehrsmanagementzentrale der Firma GEVAS (VSM)
Diese befasst sich z.B. mit den strategischen Aufgaben, der Verkehrslage, dem Import und der Verwaltung von FCD, der Schaltzeitprognose, dem netzbezogenen Qualitätsmanagement und der Weitergabe von Daten an den Mobilitätsdaten Marktplatz (MDM)
- Lichtsignalsteuerungszentrale der Firma Siemens (LStZ)
Diese befasst sich z.B. mit Betrieb und Steuerung der LSA, der Verteilung der Schaltbefehle aus den anderen Zentralen, der versionierten Datenverwaltung der LSA, dem verkehrstechnischen Qualitätsmanagement und sie soll mittelfristig z.B. das zentrale Datenmanagement der Topographiedaten (MAP-Daten) übernehmen
- Metadatenserver der Firma s.a.d. (MDS)
Dieser befasst sich z.B. mit den Strecken und Fahrplanlagen des ÖV, der Eintreffprognose des ÖPNV (ETA), der Verwaltung von Signal Request Message (SRM) und Signal Status Message (SSM) sowie der Bündelung der ETA Objekte von Schwerverkehr
- Roadsideunitzentrale der Firma s.a.d. (RSUZ)
Diese befasst sich z.B. mit der Verwaltung der IEEE 802.11p Road Side Units (RSU), der Intelligenten Roadside Komponente IRK, dem Verteilen des Signal Phase and Timiming (SPAT)/MAP - SRM/SSM Nachrichten, den virtuellen Schildern und dem Zertifikatsmanagement
- Parkleitzentrale der Firma ebm (PLS)
Diese befasst sich z.B. mit der Steuerung der Parkleitschilder, dem Sammeln von Parkdaten und der Steuerung von Verkehrsinformationstafeln

Gemäß dem VERONIKA Architekturmodell sollen die Zentralen zukünftig per Zentralenschnittstelle miteinander kommunizieren, um im Verbund die Aufgabe des kooperativen Verkehrsmanagements lösen, siehe Abbildung 3-1.

Nutzung von digitalen Testfeldern für das autonome und vernetzte Fahren



Aktuelle Umsetzung: Stufe 0 ✓ ; 1b ✎ ; 1c ✎

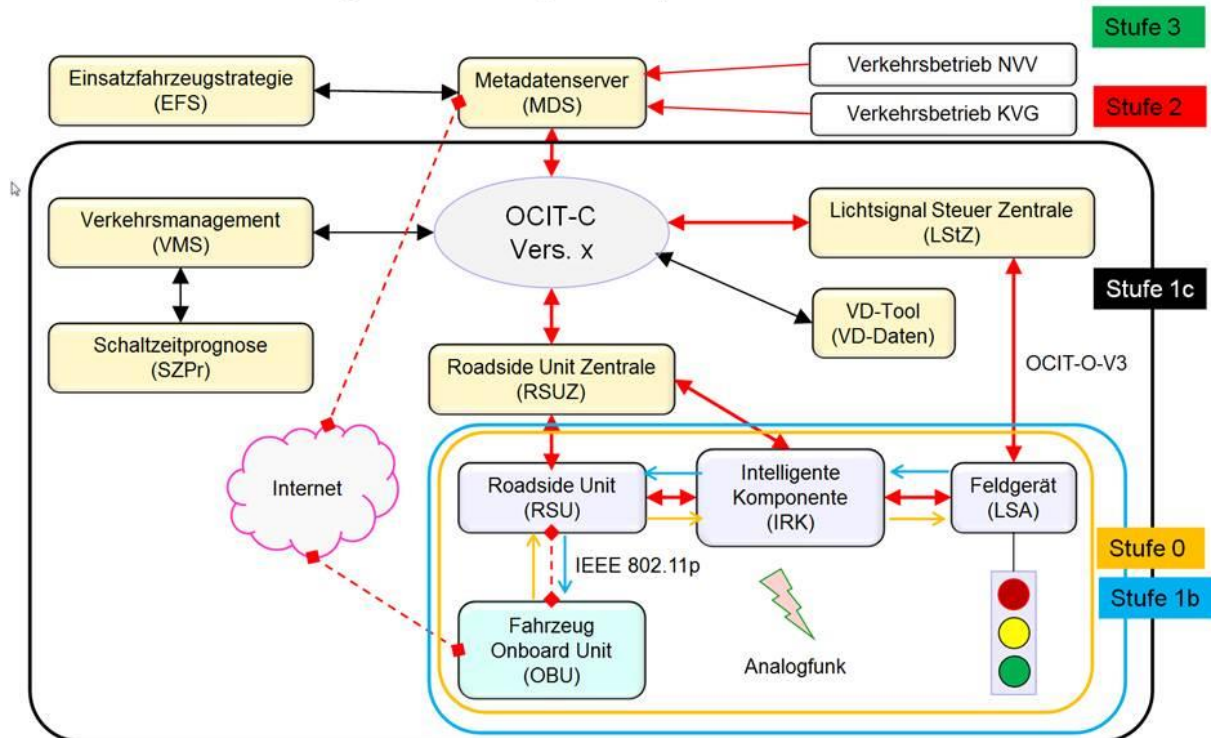


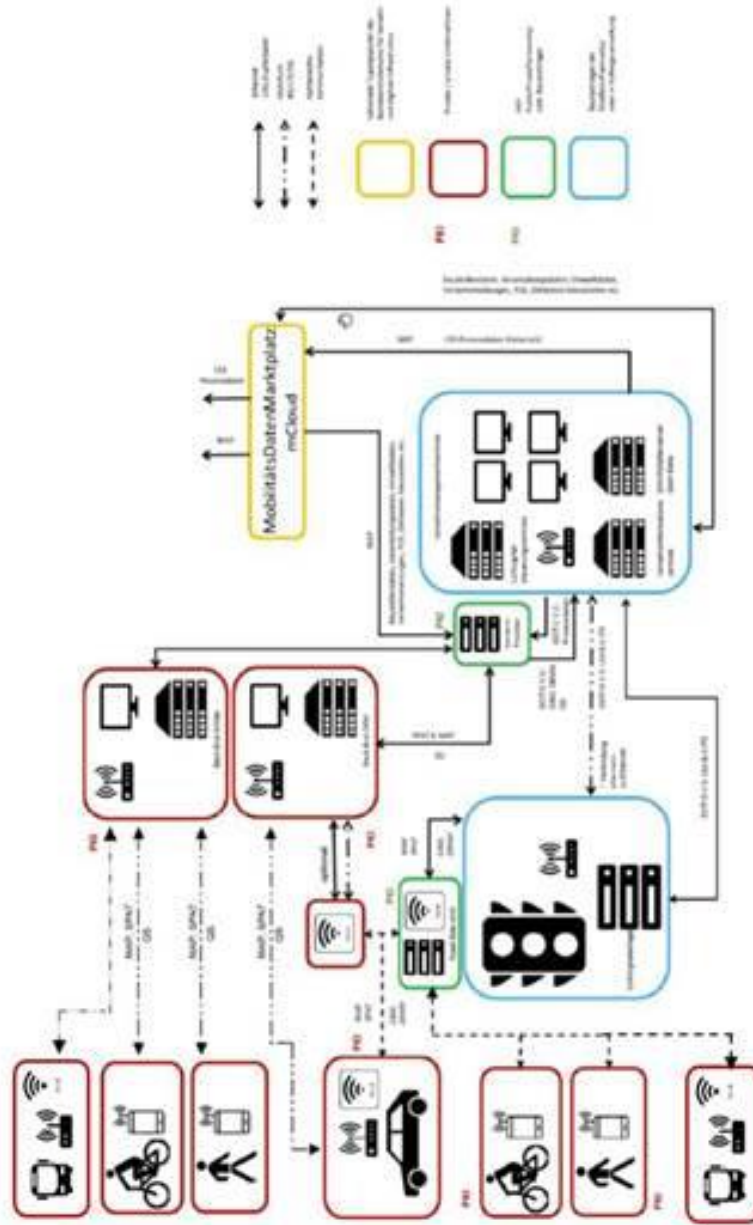
Abbildung 3-1: Geplante Nutzung von digitalen Testfeldern für das autonome und vernetzte Fahren (Darstellung noch ohne Einbindung PLS); Quelle: Stadt Kassel

Die Stadt Kassel ist eine von sechs Beispielstädten, anhand derer in einem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten Projekt Lastenhefte für das Ausrollen kooperativer Architekturen in Deutschland erstellt werden. Ein beispielhaftes Architektur-Systembild ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



Plattform Urbane Mobilität
Anforderungen und Bedarfe in der makroskopischen Verkehrslenkung – Beispiele

Konsolidierte Systemarchitektur (nachher)



Plattform Urbane Mobilität | PUM+ Expertenworkshop II „Strategische Verkehrslenkung“

Seite 7

Abbildung 3-2: Beispielhafte Darstellung konsolidierte Systemarchitektur; Quelle: Stadt Kassel, aus Expertenworkshop "strategische Verkehrslenkung"

3.1.2 Dynamische Informationstafeln

Derzeit sind 2 dynamische Informationstafeln an das PLS angeschlossen, 10 weitere sind in Planung. Es können Informationen z.B. zu Großbaustellen und Parkplätzen angezeigt werden.

3.1.3 Lichtsignalanlagen

Derzeit sind 218 LSA an das System angeschlossen. Hauptsächlich wurden Steuergeräte der SIEMENS AG verbaut (2x Siemens MS-Gerätefamilie, 111x Sitraffic-C800-Familie, 98x Sitraffic C900-Familie) aber auch 3x Steuergeräte der Firma SWARCO, 2 x Steuergeräte der Firma STOYE und 3 mechanische Fußgängeranlagen sind in der Stadt Kassel verbaut. Lediglich 7 LSA sind nicht mit der Zentrale verbunden, alle übrigen LSA sind über verschiedene Schnittstellen an die Zentrale angeschlossen. Verwendet werden für die Kommunikation zwischen der Zentrale und den Feldgeräten die „Open Communication Interface für Road Traffic Control Systems/ Offene Schnittstellen für die Straßenverkehrstechnik“ (OCIT-O)(164x), das serielle Datenübertragungssystem SITRANS-BEFA15 (BEFA 15)(3x) und die Funkverbindungsschnittstellen XKOM für Siemens MS-Gerätetypen und NCOM für Siemens C800-Gerätetypen (insgesamt 45x).

An den verkehrsabhängig gesteuerten LSA wird das phasenorientiertes Steuerungsverfahren PDMe genutzt, mit dem auf Basis der PDMe-Bibliotheken individuelle verkehrsabhängige Logiken erstellt werden können.

Die verkehrsabhängige Steuerung des Individualverkehrs (IV) erfolgt mit ortsfesten Detektoren, in Form von Tastern, Induktionsschleifen oder Radardetektoren. Letztere liegen direkt an der Haltlinie und zur Bemessung der Zeitlücken zur Freigabezeit Anpassung des MIV in einem Abstand von ca. 30-40m vor der Haltlinie

Die Detektoren zur Erfassung des MIV werden überwiegend zur Steuerung der lokalen Verkehrsabhängigkeit verwendet. Die Detektoren liefern Zählwerte und -je nach Bauart- auch Belegungswerte, die je nach Steuergerätetyp an die Zentrale übertragen werden können. Dort werden die vorhandenen Detektorinformationen archiviert und können für statistische und planerische Zwecke dort nach bestimmten Kriterien aggregiert, abgerufen werden.

Fahrzeuge des ÖPNV melden sich über analogen Datenfunk an der Zentrale an und erhalten zu einem prognostizierten Zeitpunkt ein Freigabefenster an der jeweiligen LSA, das im zulässigen Zeitrahmen bis zur Abmeldung gehalten wird.

3.1.4 Messstellen

Derzeit ist die Anzahl der Messquerschnitte gering und umfasst 39 Einfachmessquerschnitte, mit denen Verkehrsstärken ohne Fahrzeugartunterscheidung und nur mit geschätzten Geschwindigkeiten zur Verfügung gestellt werden können. Zusätzlich sind 13 Doppelschleifen-Messquerschnitte des Typs TLS8+1 vorhanden, mit denen die Verkehrsstärken nach Fahrzeugart unterschieden und die Geschwindigkeit ermittelt werden kann.

Im Rahmen der Förderrichtlinie „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“ vom 31.01.2018 wurde ein Förderantrag gestellt. Darin enthalten ist die Förderung für die Erweiterung des bestehenden Verkehrserfassungssystems um insgesamt 88 Messquerschnitte. Zum Einsatz sollen Induktionsdoppelschleifen vom Typ TLS2 kommen. Die Messquerschnitte sollen in der Nähe von Lichtsignalanlagen sowie in Streckenabschnitten ohne direkte Nähe zu einer LSA verbaut werden. Die Lage der bestehenden und geplanten Messstellen kann der folgenden Abbildung entnommen werden

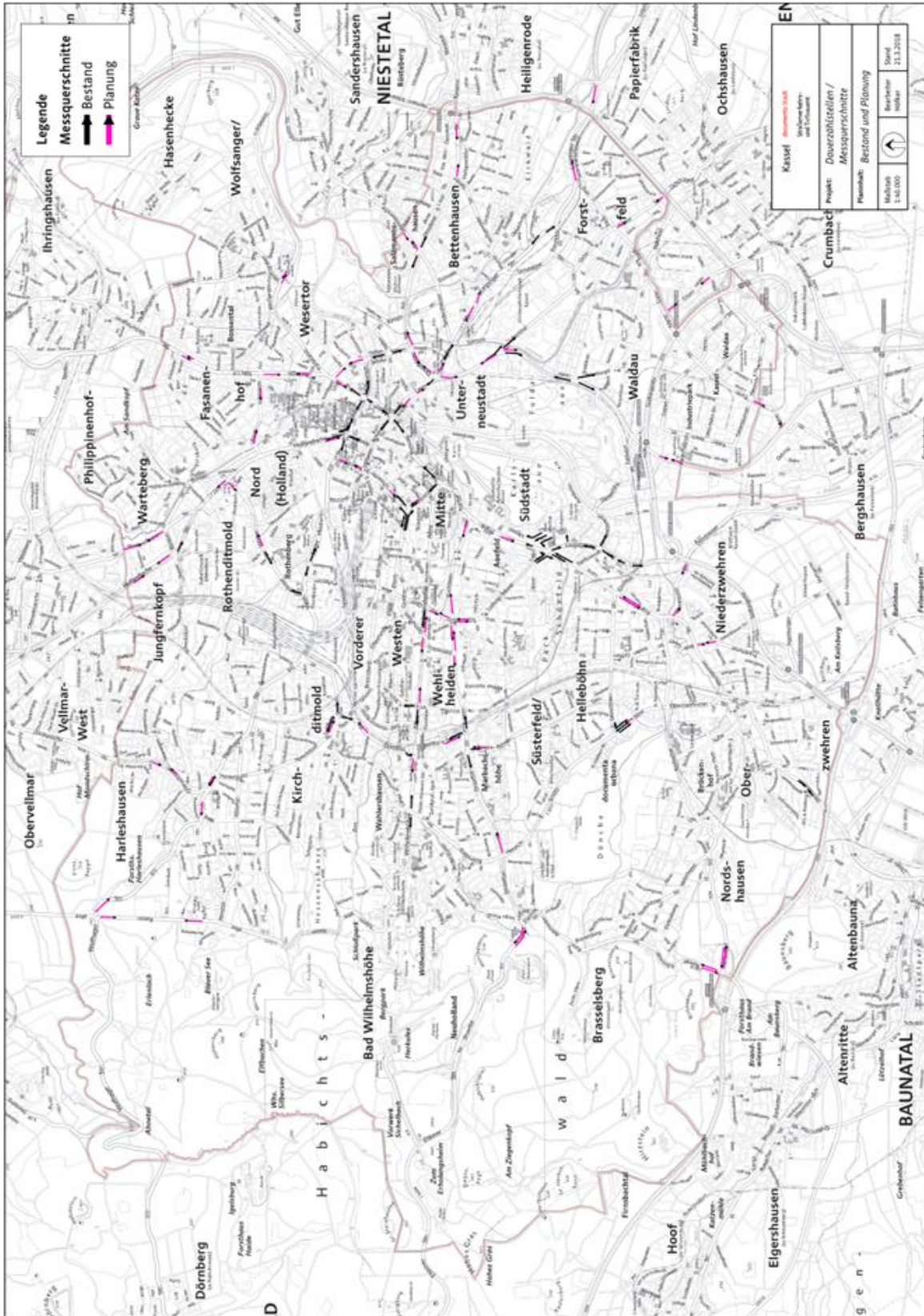


Abbildung 3-3: Dauerzählstellen/Messquerschnitte (Bestand und Planung)

3.1.5 Baustellen

Es ist ein Baustellenmanagementsystem der Firma EDV -Dr. Haller & Co. GmbH vorhanden, in dem für die Genehmigungszeiträume (keine aktuellen Baufortschrittsanzeigen) die Baustellen angezeigt werden. Der Baustellenplan ist in der Planungsansicht fahrstreifenfein mit Angaben zu Verkehrsstärke, zulässigen Geschwindigkeiten, etc. versehen und kann vereinfacht im Internet unter <http://www.stadt-kassel.de/stadtplan/> abgerufen werden.

3.1.6 Car2X

3.1.6.1 Forschungsprojekt VERONIKA ⁷

Im Rahmen des Forschungsprojektes VERONIKA (Vernetztes Fahren des öffentlichen Nahverkehrs in Kassel, Projektlaufzeit vom 01.01.2017 bis 30.06.2019) wird die Vernetzung von Fahrzeugen und Ampeln für einen besseren Verkehrsfluss erforscht. Dafür werden Straßenbahnen, Busse und Rettungsfahrzeuge für den Austausch operativer und strategischer Daten mit „On-board-Units“ ausgerüstet. [...]

Es soll eine intelligente Vernetzung von Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen sowohl zu einer netzweit energiesparenden Fahrweise als auch zu einer emissionsreduzierenden Lichtsignalsteuerung beitragen. Im Digitalen Testfeld Kassel werden dazu voraussichtlich 15 Lichtsignalanlagen mit entsprechender Kommunikationstechnik ausgerüstet. Diese verfügt über einen neuen digitalen Funkstandard im 5,9 GHz-Frequenzband (IEEE 802.11p), mit dem Daten und Informationen z.B. mit vorbeifahrenden Straßenbahnen, Bussen und Rettungsfahrzeugen ausgetauscht werden können. Hierzu werden zunächst etwa 10 Fahrzeuge passend ausgerüstet. Die Geräte in den Fahrzeugen geben den Fahrern auf der Grundlage der ausgetauschten Daten entsprechende Handlungsempfehlungen zu einer energieoptimalen Fahrweise. Die Lichtsignalanlagen erhalten im Gegenzug Daten bspw. zur Fahrstrategie der sich nähernden Busse und Straßenbahnen. Dadurch soll den öffentlichen Verkehrsmitteln möglichst sekundengenau eine Freigabe eingeräumt werden. Da diese Freigaben dann kürzer sind, kann eine Reduktion von Wartezeiten und Halten erreicht werden.

Von den Ergebnissen des VERONIKA-Projektes profitieren neben der Stadt Kassel als Betreiber der Lichtsignalanlagen auch kommunale und regionale Verkehrsunternehmen. Betreiber von Einsatzfahrzeugen mit Sondersignal sind ebenfalls eine wichtige Zielgruppe der digitalen Vernetzung. Die ausgewählten Anwendungspartner werden mit ihren wertvollen Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis einen wichtigen Beitrag zum Projekterfolg leisten.

Als Anwendungspartner sind die KVG (Kasseler Verkehrsgesellschaft, Kassel), der NVV (Nordhessischer Verkehrsverbund, Kassel) mit der BKW (Bad Wildunger Kraftwagenverkehrs- und Wasserversorgungsgesellschaft mbH, Bad Wildungen) und der ASB (Arbeiter Samariter Bund, Kassel) vorgesehen

Auf dieser Grundlage kann das Verkehrsmanagementsystem durch eine Ausweitung der Technik im Stadtgebiet, in Kombination mit einer angepassten LSA-Steuerung, höhere Effekte zugunsten der Verkehrseffizienz erzielen.

⁷ (Stadt Kassel - Straßenverkehrs- und Tiefbauamt - Forschungsprojekt VERONIKA)

3.1.6.2 Forschungsprojekt UR:BAN - Ampelphasenassistent ⁸

Im Rahmen des Forschungsprojektes UR:BAN (Projektlaufzeit Anfang 2012 bis Anfang 2016) wurde am Fachgebiet Verkehrstechnik und Transportlogistik der Universität Kassel unter der Leitung von Professor Dr. Robert Hoyer der Prototyp eines Smart-Phone basierten Ampelphasen-Assistenten entwickelt. [...] Den Verkehrsteilnehmern soll damit mitgeteilt werden, ob bei Ankunft an der nächsten LSA „rot“ oder grün“ angezeigt wird und so energieeffizientes Fahren unterstützen. Der Wirkung des Prototypens wurde evaluiert und bestätigt.

Daher wurde die Funktionalität flächendeckend konfiguriert und mit den notwendigen Geo-Daten versorgt. Das neu aufgebaute Verkehrsmanagement-System der Stadt Kassel liefert bereits die notwendigen Prozessdaten für den Alltagseinsatz. Die hochdynamischen Schalt-Daten der Ampeln wurden in einer Datenbank bei der Stadt in Echtzeit gesammelt und für eine Prognose der Schaltzeiten aufbereitet.

Im Herbst 2018 soll der mobilfunkbasierte Dauerbetrieb ausgerollt werden und für den Herbst 2019 ist der Alltagsbetrieb mit Serienfahrzeugen geplant.

3.2 Verkehrsmodell

Für diese Untersuchung wurde seitens der Stadt Kassel ein Verkehrsmodell für den IST-Zustand zur Verfügung gestellt. Die hieraus resultierenden Streckenbelastungen und ihre Aufteilung auf Quell-/Ziel-, Binnen- und Durchgangsverkehr sind in Abbildung 3-4 dargestellt. Diese zeigen einen geringen Anteil an Durchgangsverkehr auf dem Hauptverkehrsstraßennetz der Stadt Kassel, jedoch einen vergleichsweise hohen Anteil an Quell-/Ziel- und Binnenverkehr.

Dieses Verkehrsmodell bildet den durchschnittlichen Werktag ab und stellt die Grundlage für die Untersuchung der Verkehrsströme in den Hotspots sowie für die verkehrliche Wirkungsanalyse im Hinblick auf Verlagerungseffekte dar.

⁸ (Stadt Kassel - Forschungsprojekt UR:BAN, 2016)

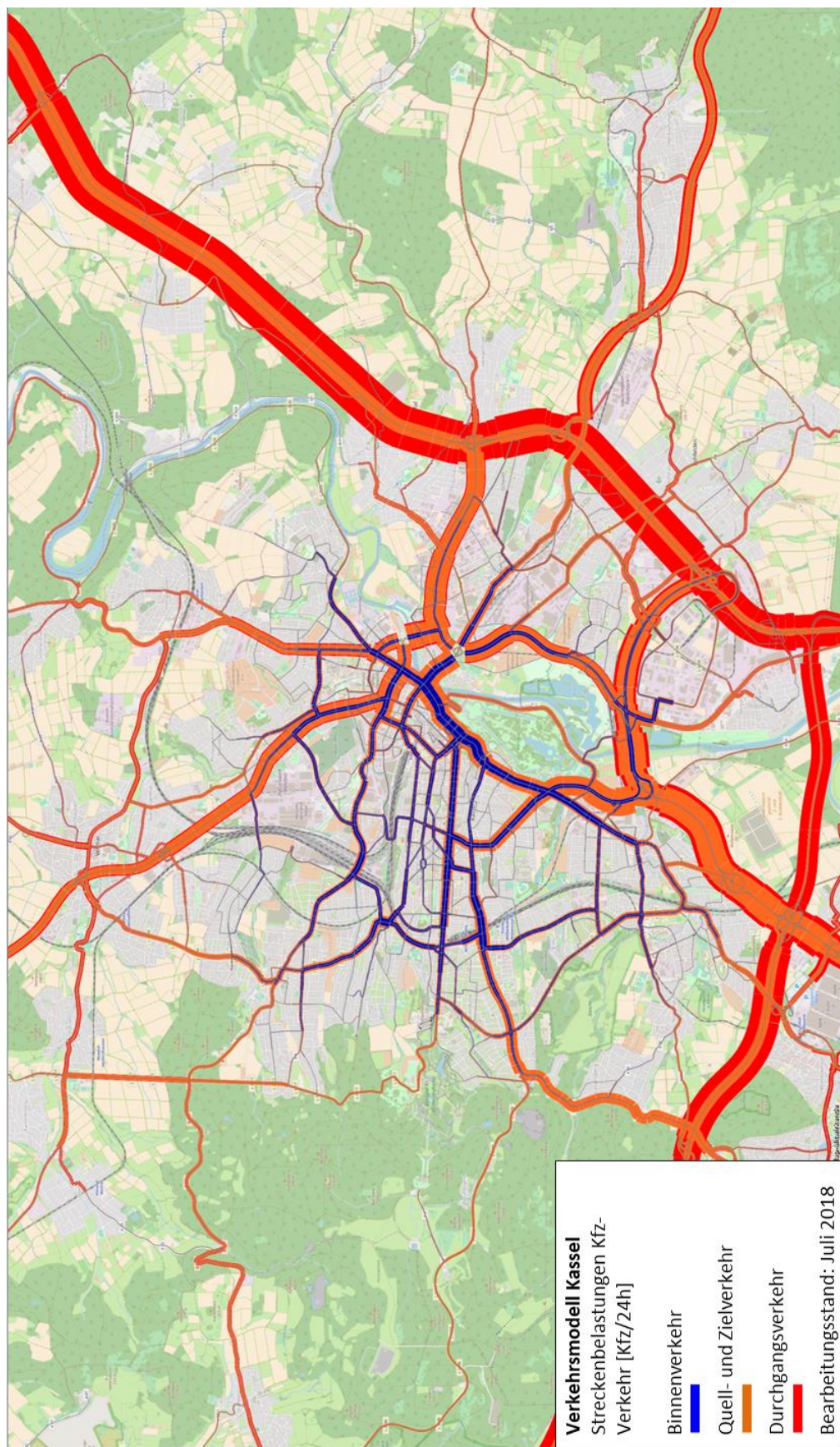


Abbildung 3-4: Streckenbelastungen im Ist-Zustand und ihre Aufteilung auf Quell-/Ziel-, Binnen- und Durchgangsverkehr

3.3 Umweltsituation

3.3.1 Luftreinhalteplan

Für die Stadt Kassel liegt eine 1. Fortschreibung des Luftreinhalteplans⁹ vor. In diesem werden für 20 Straßenabschnitte in Kassel NO₂-Jahresmittelwerte für das Bezugsjahr 2008 angegeben, die mit entsprechenden Ausbreitungsmodellen berechnet wurden¹⁰. Die Liste dieser 20 Abschnitte mit den für 2008 berechneten NO₂-Jahresmittelwerten ist in Tabelle 3-1 aufgeführt und in Abbildung 3-5 als Karte dargestellt. Im Auftrag des HMUKLV wurden für 8 dieser 20 Abschnitte die Ausbreitungsrechnungen für das Bezugsjahr 2013 wiederholt.¹¹ Die Ergebnisse diese Aktualisierungen für den NO₂-Jahresmittelwert sind ebenfalls in Tabelle 3-1 eingetragen. NO₂-Jahresmittelwerte über dem entsprechenden Grenzwert sind in der Tabelle in Rot dargestellt.

Tabelle 3-1: Straßenabschnitte in Kassel für die im Luftreinhalteplan NO₂-Jahresmittelwerte für das Bezugsjahr 2008 angegeben werden und für die teilweise in (IVU Umwelt 2017) die Berechnungen für das Bezugsjahr 2013 aktualisiert wurden.

ID	Straße	Zwischen und	NO ₂ -Jahresmittelwert (µg/m ³)	
				2008	2013
40	Brüderstr. 5	Marställer Platz	Kreuzung Altmarkt	54.1	52.7
41	Fünffensterstr. 14	Neue Fahrt	Obere Königsstr.	48.6	43.0
42	Frankfurter Str. 102	Beethovenstr.	Mozartstr.	48.7	42.5
43	Frankfurter Str. 247	Knorrstr.	Credestr.	33.6	
44	Friedrich-Ebert-Str. 32	Friedrich-Engels-Str.	Karthäuser Str.	37.2	
45	Holländische Str. 28	Moritzstr.	Holländischer Platz	39.6	
46	Holländische Str. 157	Fichtnerstr.	Wiener Str.	50.2	43.7
47	Ihringshäuser Str. 43	Eisenschmiede	Rauchstr.	32.9	
48	Kohlenstr. 40	Wittrockstr.	Friedenstr.	44.1	
49	Konr.-Adenauer-Str. 73	Siedlerweg	Schwarzer Weg	18.2	
50	Leipziger Str. 159	Kunigundishof	Ringhofstr.	45.0	36.4
51	Mauerstr. 11	Kölnische Str.	Poststr.	51.7	53.3
52	Obervellmarer Str. 4	Kronenstr.	Wolfhager Str.	32.9	
53	Schönfelder Str. 6	Gräfestr.	Wilhelmshöher Allee	36.8	
54	Schönfelder Str. 50	Paul-Nagel-Str.	Sternbergstr.	56.6	58.7
55	Tischbeinstr. 18	Stillingstr.	Frankfurter Str.	34.4	
56	Weserstr. 17	Kurt-Wolters-Str.	Magazinstr.	36.3	
57	Wilhelmshöh. Allee 286	Kunoldstr.	Rolandstr.	30.8	
58	Wolfhager Str. 124	Brandaustr.	Mombachstr.	46.5	40.3
59	Ysenburgstr. 29	Weserstr.	Gartenstr.	44.4	

⁹ (HMUELV, 2011)

¹⁰ (IVU Umwelt GmbH, 2011)

¹¹ (IVU Umwelt GmbH, 2017)

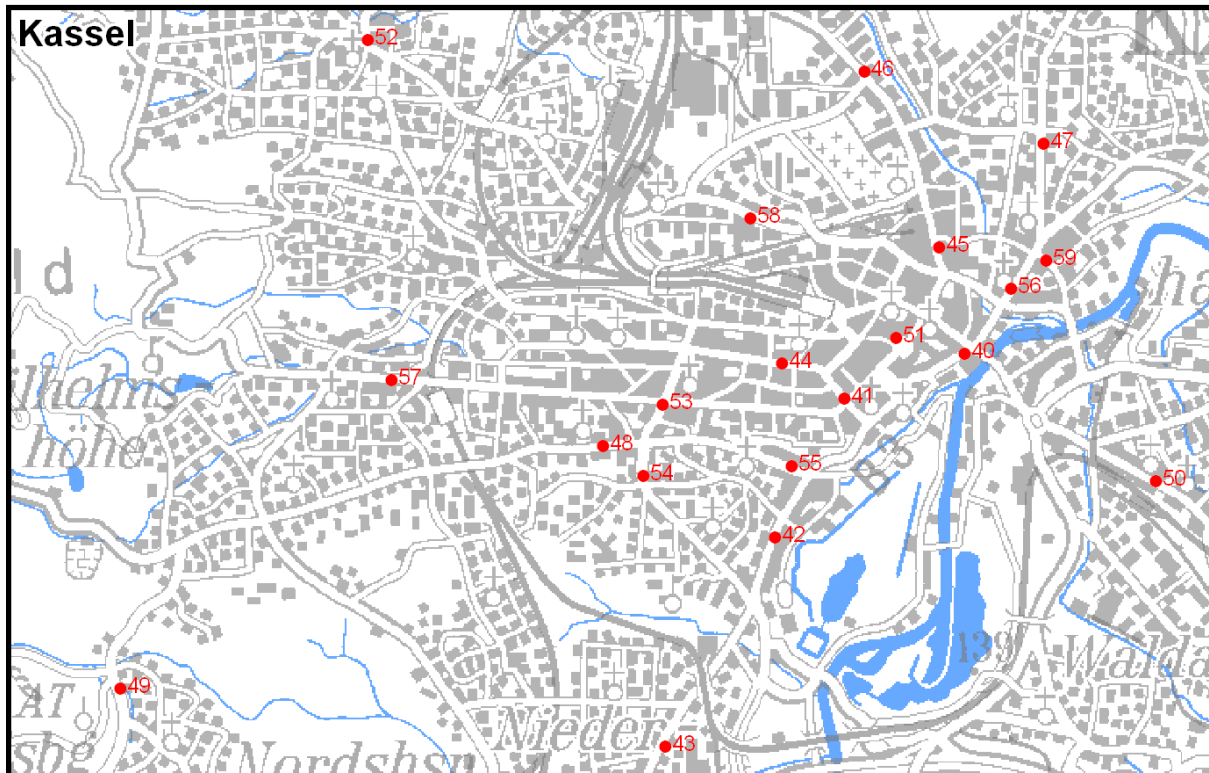


Abbildung 3-5: Karte der in Tabelle 3-1 aufgeführten Straßenabschnitte mit Angabe einer ID in Rot, mit der die Zuordnung zur Tabelle hergestellt werden kann.

3.3.2 Messungen

In Kassel werden durch das Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLUNG) an zwei Standorten kontinuierliche Messungen der NO_2 -Belastung durchgeführt. Dabei handelt es sich zum einen um eine verkehrsbezogene Messstation an der Fünffensterstraße und zum anderen um die Station Kassel-Mitte, die als Stadtstation die Belastungssituation im städtischen Hintergrund erfasst. An der Kassel-Mitte werden u.a. auch noch kontinuierlich Ozon und verschiedene meteorologische Größen, wie z.B. die Windgeschwindigkeit erfasst. In Abbildung 3-6 sind als Jahreszeitreihen die gemessenen NO_2 -Jahresmittelwert für die beiden Stationen von 2010 bis 2017 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass im städtischen Hintergrund an der Station Kassel-Mitte der NO_2 -Jahresgrenzwert in Höhe von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ immer eingehalten wurde, während an der verkehrsbezogenen Station Fünffensterstraße der NO_2 -Grenzwert erst im vergangenen Jahr 2017 knapp eingehalten wurde.

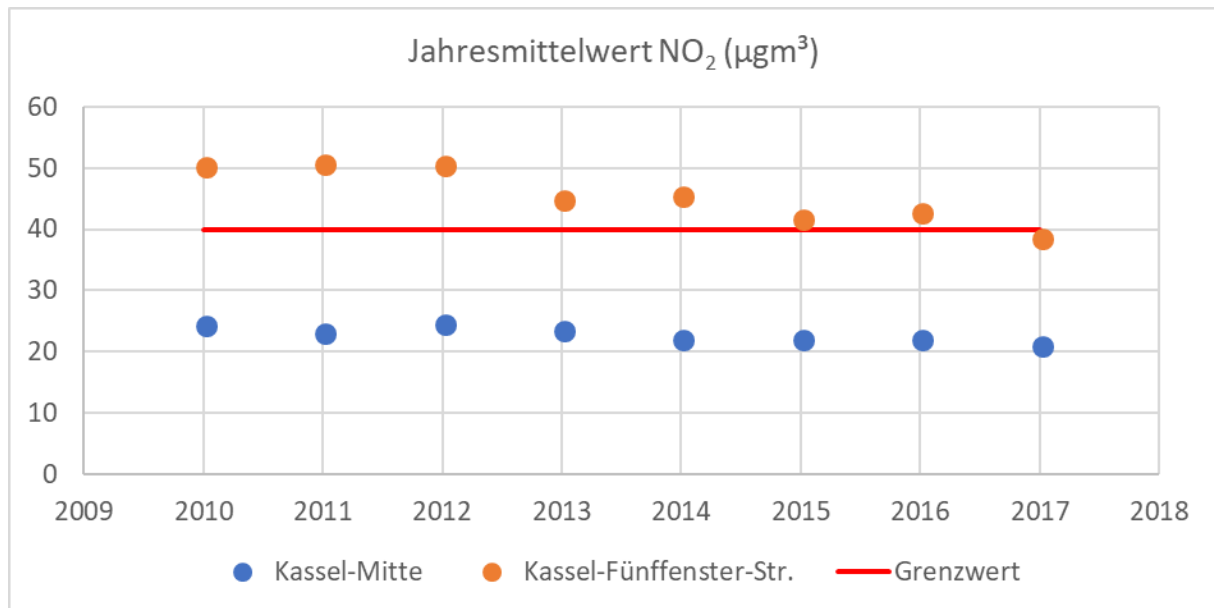


Abbildung 3-6: Zeitreihe der gemessenen NO₂-Jahresmittelwerte in Kassel (Daten vom UBA)

Für die beiden kontinuierlich messenden Station in Kassel können über das Internetangebot der HLNUG stündliche Zeitreihen der Messdaten heruntergeladen werden. In Abbildung 3-7 sind die Zeitreihen der stündlichen NO₂-Konzentrationen für das Jahr 2017 und in Abbildung 3-8 beispielhaft als Auszug für den Januar 2017 dargestellt. Es wird deutlich, dass das Konzentrationsniveau am Hotspot deutlich über dem städtischen Hintergrundniveau liegt. Sowohl an der Jahreszeitreihe wie besonders auch an der Zeitreihe vom Januar 2017 ist deutlich die starke Schwankung der NO₂-Belastung zu erkennen. Die Daten dieser beiden Messstationen werden im Weiteren für die Wirkungsabschätzungen der UVM-Maßnahmen herangezogen (Abschnitt 6.2).

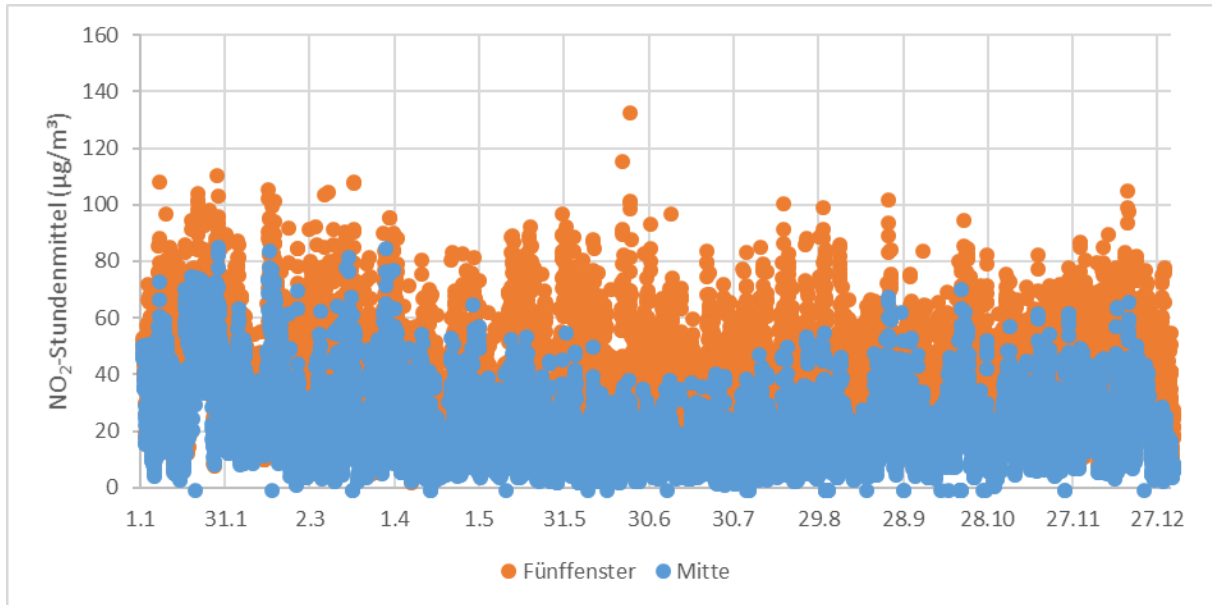


Abbildung 3-7: Messzeitreihe der NO₂-Stundenmittelwert von den beiden Messstationen in Kassel für 2017

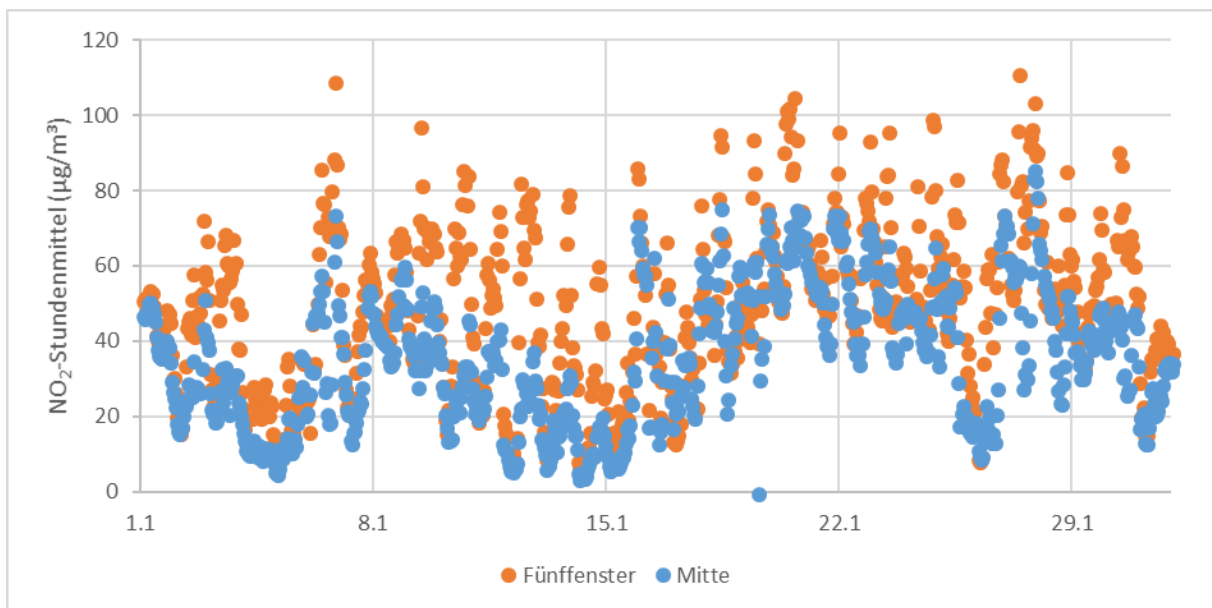


Abbildung 3-8: Messzeitreihe der NO₂-Stundenmittelwert von den beiden Messstationen in Kassel für den Januar 2017

3.3.3 Modellrechnungen

Für die Analyse der Wirkungen der verschiedenen Maßnahmen des Masterplans wurden Modellberechnungen durchgeführt. Die Berechnungen wurden mit dem Screeningmodell IMMIS^{em/luft} Version 7.0¹², welches die Emissionsfaktoren des HBEFA 3.3¹³ verwendet, durchgeführt.

¹² (IVU Umwelt GmbH Handuch IMMIS, 2017)

¹³ (INFRAS AG; MK Consulting GmbH; TU Graz, 2017)

Berechnungsgrundlage bilden die Hotspotbetrachtungen aus *Ausbreitungsrechnungen für die Gebiete Mittel- und Nordhessen, Lahn-Dill und den Ballungsraum Kassel*¹⁴ und *Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung*¹⁵.

Als Bezugsjahr für die Betrachtung der Luftschadstoffsituation wurde 2017 festgelegt. In der Berechnung für das Bezugsjahr 2017 wurden die Kfz-Flotte auf die Standardwerte des HBEFA mit Bezugsjahr 2017 und für die Untersuchung der UVM-Maßnahmen die Verkehrsbelastung als DTV mit Daten aus der Umlegung und die LOS-Aufteilung nach FCD-Daten, aufbereitet von der VMZ Berlin (s. Tabelle 3-2), angepasst¹⁶. Alle weiteren Emissionsparameter zur Aufteilung auf Fahrzeugarten und zur Verkehrssituation wurden die in IVU Umwelt (2011) bzw. IVU Umwelt (2017) verwendeten Daten beibehalten.

Die Vorbelastung wurde auf Grundlage der Messdaten der Station Kassel-Mitte auf die Jahresmittelwerte in Höhe von 21.2 µg/m³ für NO₂, 43.6 µg/m³ für Ozon gesetzt.

Die für die Screeningberechnungen mit IMMIS^{luft} erforderlichen Eingangsdaten für die Straßenraumgeometrie der einzelnen Straßenabschnitte wurden auf der Grundlage des von der Stadt zur Verfügung gestellten 3D-Gebäudemodell (LOD-Modell) abgeleitet. Die für die Bestimmung der Kfz-Emissionen wesentliche Einflussgröße der Längsneigung wurde auf Basis des ebenfalls von der Stadt zur Verfügung gestellten Digitalen Geländemodell (DGM) abgeleitet (s. Tabelle 3-2).

Als meteorologische Eingangsdaten der Screeningberechnung wird eine 10-jährige Ausbreitungsklassenstatistik (AKS), basierend auf Messdaten des DWD für Kassel, verwendet. Dabei wird der als Eingangsparameter der Screeningberechnung erforderliche Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit in Überdachhöhe auf den an der Station Kassel-Mitte in 2017 gemessenen Wert in Höhe von 1.95 m/s gesetzt.

Berechnet werden die NO₂-Jahresmittelwerte für die in Tabelle 3-2 dargestellten Hotspots. Diese Berechnungen wurden als Nullfall zur Ermittlung der Minderungswirkungen in Abschnitt 6 verwendet. Die Eingangsdaten zur Straßenraumgeometrie und zur Längsneigung sowie ein Teil der verkehrlichen Eingangsdaten und die Ergebnisse der Berechnungen für die NO₂-Gesamtbelastung sind in Tabelle 3-2 dargestellt.

Wie aus der Spalte zum NO₂-Jahresmittelwert ersichtlich ist, wird nach den Berechnungen für 2017 der NO₂-Jahresgrenzwert in Höhe von 40 µg/m³ an sechs Streckenabschnitten überschritten. Nach diesen Modellberechnungen wird am Abschnitt der Fünffensterstraße, an dem die verkehrsbezogene Messstation steht, der NO₂-Grenzwert mit 39.9 µg/m³ knapp eingehalten. Für diese Messstation wird für 2017 ein NO₂-Jahresmittelwert in Höhe von 38.9 µg/m³ angegeben. Die Abweichung zwischen Screeningmodell und Messung ist mit unter 3 % sehr klein und es besteht damit eine gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit der genannten Messung.

¹⁴ (IVU Umwelt GmbH, 2011)

¹⁵ (IVU Umwelt GmbH, 2017)

¹⁶ Für die Wirksamkeitsuntersuchungen des Masterplans wurden die DTV-Werte verwendet, wie sie vom AG zur Verfügung gestellt wurden.

Tabelle 3-2: Ausgewählte Eingangsdaten und Screeningergebnisse für den Basis-Fall

ID	Name	B (m)	H (m)	P (%)	N (%)	DTV Kfz/24h	SL %	LOS2 %	LOS3 %	LOS4 %	NO ₂ µg/m ³
40	Brüderstr.	28.0	20.0	30	3.0	43 369	1.3	46.3	32.8	15.9	50.7
41	Fünffensterstr.	30.8	19.6	<20	1.0	17 739	2.2	39.6	30.8	24.6	39.9
42	Frankfurter Str.	32.4	15.2	<20	1.0	28 931	2.2	76.2	14.7	4.1	42.3
46	Holländische Str.	30.4	16.6	24	1.0	31 570	3.0	63.0	19.3	12.7	43.7
54	Schönfelder Str.	16.8	18.5	23	4.0	21 474	0.9	47.4	28.9	18.7	52.1
58	Wolfhager Str.	20.3	13.3	30	2.0	13 939	3.2	77.5	14.6	2.9	33.0
59	Ysenburgstr.	25.9	17.0	<20	0.0	22 223	3.0	38.3	21.3	35.4	46.3

B – mittlerer Bebauungsabstand
 H – mittlere Bebauungshöhe
 P – Baulückenanteil (Porosität)
 N- Längsneigung
 SL – Anteil Schwere Lkw an DTV
 NO₂ – rot = Grenzwertüberschreitung

4. Erfordernisse zum Aufbau eines umweltorientierten Verkehrsmanagements

4.1 Grobkonzept einer umweltsensitiven Steuerung

Die Leitstellensysteme der Verkehrssteuerung und Verkehrsinformation beinhalten die Bestandssysteme der Leitstellen des Individualverkehrs (Sittraffic Concert/Scala und GEVAS VTnet) mit Anbindungen an Detektoren und Informationstafeln im Straßenraum sowie die Lichtsignalanlagen im Stadtgebiet.

Ziel ist die Etablierung einer umweltorientierten Verkehrssteuerung zur Reduzierung der NO₂-Emissionen in den definierten Hotspots. Zu diesem Zweck wird das vorhandene System um das Umweltmodell IMMIS^{mt} erweitert.

Die Zentrale beinhaltet die mit strategischen Detektoren im Straßennetz erhobenen Verkehrsdaten, die lokale Geschwindigkeit am Streckenabschnitt V_{Kfz} , die lokale Verkehrsstärke Q_{Kfz} sowie den Lkw-Anteil Q_{Lkw} auf dem Streckenabschnitt.

IMMIS^{mt} berechnet auf Basis der gemessenen verkehrlichen Parameter gemäß dem aktuellen Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs die NO₂-Immissionen im Hotspot.

Wird für eine aktuelle Situation eine Schwellwertüberschreitung festgestellt, so wird eine Umweltschaltung aktiviert und an die LStZ übertragen. Durch die Anpassung der Signalzeitenpläne der Lichtsignalanlagen auf den zuführenden Radialen werden Verkehre an weiter vom Hotspot entfernten und besser durchlüfteten Streckenabschnitten gedrosselt. Hierdurch reduziert sich zeitweise die Verkehrsbelastung im Hotspot und erhöht sich bei Unterschreitung der Auslastungsgrenze die Verkehrsqualität, wodurch eine direkte Reduzierung der lokalen NO₂-Emissionen der Fahrzeuge im Hotspot und hierdurch der verkehrlich bedingten lokalen NO₂-Immissionen bewirkt werden soll. Für die Eingriffsschwere in den Verkehr können Strategien mit unterschiedlichen Eingriffstiefen definiert werden. In diesem Zusammenhang empfiehlt sich die Definition von Abbruchkriterien, um besonders negative Auswirkungen zu vermeiden.

Über aktive Umweltschaltungen wird auf verschiedenen Informationskanälen informiert: Einerseits werden die im Straßennetz zu errichtenden Informationstafeln verwendet, um Verkehrsteilnehmer auf die ausgelösten Maßnahmen aufmerksam zu machen. Andererseits können über die begleitenden Informationsdienste (z. B. Mobilitäts-App) Verkehrsteilnehmer auch weit im Vorfeld erreicht werden.

Durch eine Vorausschau auf die Wetter- und Verkehrssituation für den kommenden Tag (Prognose) können Verkehrsteilnehmer auch mit zeitlichem Vorlauf über erwartete Schaltungen informiert werden und Pendler in ihrer Verkehrsmittelwahl bereits im Vorfeld beeinflusst werden.

Die umweltsensitive Verkehrssteuerung für die Hotspots soll darüber hinaus zu einem kontinuierlichen stadtweiten umweltorientierten Verkehrsmanagement weiterentwickelt werden. Das UVM Leitstellen-System soll die in den Leitstellen verfügbaren Daten zur Verkehrs- und Umweltsituation bündeln und ein kombiniertes stadtweites Verkehrs- und Umweltmonitoring - und damit die Betrachtung auch von Bereichen außerhalb der Hotspots - ermöglichen. Durch die geplante integrierte Betrachtung des Stadtgebietes soll ein stadtweites kontinuierliches Monitoring konzipiert, entwickelt und etabliert werden. Dieses greift die Komponenten des UVM auf und überträgt sie in einen gesamtstädtischen Ansatz.

Die Errichtung des stadtweiten Monitorings sieht vor, das Verkehrsmonitoring auf das gesamte Hauptverkehrsstraßennetz der Stadt auszudehnen. Neben den im existierenden Verkehrsmanagementsystem vorliegenden Informationen zur lokalen Verkehrsstärke und der

Geschwindigkeit an detektierten Streckenabschnitten sind für ein stadtweites Monitoring Qualitätsinformationen an allen Streckenabschnitten erforderlich. Hierfür wird der Einsatz einer fusionierten Verkehrslage aus flächendeckenden Floating-Car-Data (FCD) zur Verkehrsqualitätsbewertung im Hauptverkehrsstraßennetz und ggf. wesentlichen Abschnitten des Nebennetzes empfohlen. Ein erster Schritt hierzu ist der bereits installierte FCD-Import aus dem Ampelphasenassistenten. Diese Informationen werden mit den vorliegenden Detektionsdaten fusioniert um eine widerspruchsfreie und valide Verkehrslage zu erzeugen. Da die FCD-Verkehrslage keine Aussage zur Verkehrsstärke zulässt, ist eine modellgestützte Fortschreibung der Verkehrsstärkedaten der stationären Detektion auf das Hauptverkehrsstraßennetz vorgesehen.

Auf Basis der damit vorliegenden netzweiten Verkehrslagedaten können mit dem Umweltmodell IMMIS^{mt} die NO₂-Belastungen im Gesamtnetz berechnet werden und soll das Umweltmonitoring ebenfalls zu einer stadtweiten Lösung ausgedehnt werden.

Durch die Etablierung des kontinuierlichen stadtweiten Verkehrs- und Umweltmonitorings wird angestrebt, die NO₂-Belastungen nicht nur der lokalen Quellen in den Hotspots zu senken, sondern gleichzeitig den urbanen Hintergrund und damit die Belastung in anderen städtischen Gebieten zu senken.

Durch das vorgeschlagene System erhält die Stadt sehr gute Informationen über das gesamte Verkehrssystem. Ziel dessen ist es unter anderem auch, verkehrsplanerische Aufgaben schneller und flexibler zu erfüllen.

Änderungen in der Verkehrsorganisation oder den Verkehrsabläufen der Stadt Kassel können einen erheblichen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit und den Beitrag des umweltorientierten Verkehrsmanagements zur Zielerreichung - der Senkung der NO₂-Belastungen - zur Folge haben. Die Verkehrssteuerungs-Aspekte müssen daher nach der erfolgten Integration und Erstversorgung hinsichtlich Ihrer Wirkung überwacht und kontinuierlich überprüft und validiert werden.

Es hat sich darüber hinaus gezeigt, dass die Akzeptanz von Maßnahmen im Straßenverkehr steigt, wenn diese durch eine breite Information der Verkehrsteilnehmer begleitet werden. Das hier definierte Zielsystem sieht dafür vor, die Information der Verkehrsteilnehmer durch komplementäre Informationsdienste, z. B. einer App, zu erweitern.

Die folgende Abbildung 4-1 zeigt das Zielsystem der Verkehrssteuerung sowie die Anbindung an die Informationsdienste, die in den folgenden Abschnitten weiter untersetzt werden.

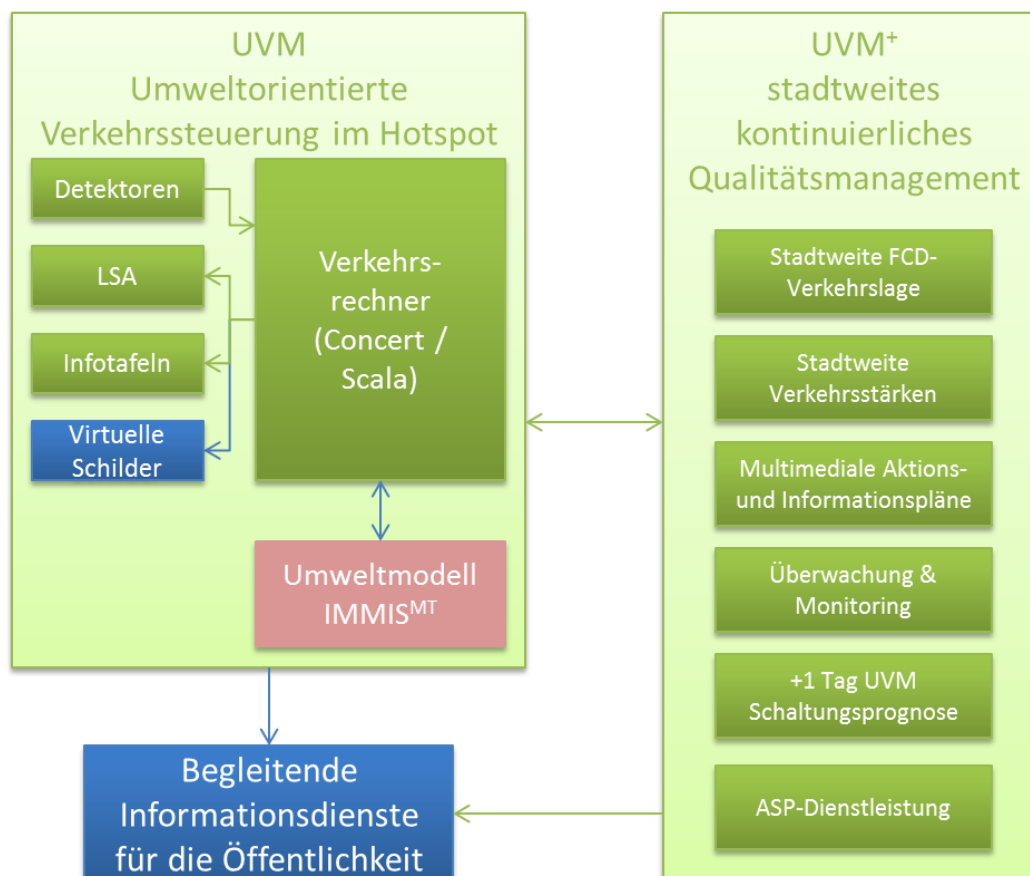


Abbildung 4-1: Zielsystem Verkehrssteuerung für Hotspots am Beispiel eines Concert/Scala Verkehrsrechners

4.2 Verkehrsmanagement

Die bereits vorhandene Verkehrsmanagementzentrale (GEVAS-System) muss für die Einrichtung eines Verkehrs- und Umweltmonitoringsystems (inkl. der Schnittstellen zu Drittsystemen) erweitert und angepasst werden.

Derzeit sind in dem System noch keine Schnittstellen zur Integration von Wetterstationen und Luftqualitätsmessstellen vorhanden, diese müssten ergänzt werden.

Dabei können beispielsweise folgende, von den entsprechenden Messstellen erhobene Daten an das VMS übermittelt werden:

- Sensortyp sowie geografische Lage
- Punkt oder Streckenbezogene Messwerte

Die Schnittstellen zu den Verkehrs- und Umweltmonitoringtools müssen ebenfalls erstellt werden. Die Einbindung könnte z.B. direkt über das GEVAS-System erfolgen oder alternativ über einen eigenen Server, der über OCIT-C mit dem Gesamtsystem kommuniziert.

4.3 Verkehrsmonitoring

Im Folgenden werden die Voraussetzungen für ein UVM und die notwendigen Erweiterungen des Verkehrslagesystems der Stadt Kassel für die Verkehrslageerfassung und -modellierung

in Echtzeit dargestellt. Einige der Voraussetzungen sind mit der bestehenden Infrastruktur bereits geschaffen, andere müssen erneuert bzw. ergänzt werden.

4.3.1 Verkehrsdetektion

Aktuelle und verlässliche Daten zur Verkehrsstärke, zur Verkehrszusammensetzung und zum Verkehrszustand sind eine wesentliche Datengrundlage zur Ermittlung der verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen und u. a. daraus resultierenden Luftschadstoffkonzentrationen in den hochbelasteten Abschnitten. Eine lokale Verkehrsdetektion schafft hierfür die geeigneten Voraussetzungen.

Für jeden kritischen Abschnitt wird die Installation einer Verkehrsmessstelle empfohlen. Die Verkehrsdetektion muss an einem geeigneten Punkt innerhalb der kritischen Abschnitte installiert werden: Einerseits muss der Montageort hinreichend weit von der Haltelinie der nächstfolgenden Lichtsignalanlage entfernt liegen um eine genaue Zählung zu ermöglichen, andererseits muss aber auch ein Stau außerhalb des normalen Rückstaubereiches der LSA erkannt werden.

Die aus den Messstellen ermittelten Daten (zeitlich hochaufgelöste Verkehrsstärken, Lkw-Anteile, lokale Geschwindigkeiten und resultierende LOS) stehen nach der Übertragung in das Verkehrsmanagementsystem zur Anzeige und Weiterverarbeitung zur Verfügung. Die Daten werden sowohl fahrstreifengenau als auch zu Messquerschnitten zusammengefasst verarbeitet. Die Übertragung und Verarbeitung von Einzelfahrzeugdaten kann ebenso aktiviert werden.

Darüber hinaus erfordert das stadtweite Umweltmonitoring eine Installation von strategischen Verkehrsmessstellen zur Erfassung der aktuellen Verkehrsstärke an geeigneten weiteren Punkten im Netz. Nicht detektierte Abschnitte sollten über ein geeignetes Verkehrsmodell ergänzt werden, das mithilfe der strategischen Messstellen gestützt wird.

Für die Berechnung der netzweiten Verkehrsstärken in der Stadt Kassel ist keine zusätzliche Detektion über den Bestand und die vorliegende Planung hinaus erforderlich. Vorausgesetzt wird hierbei, dass die Detektoren nicht nur die Anwesenheit von Kfz erfassen, sondern mindestens auch eine vollständige Kfz-Zählung (Verkehrsstärke) für den richtungsbezogenen Querschnitt leisten. Eine Geschwindigkeitserfassung ist für diesen Anwendungsfall nicht erforderlich.

4.3.2 Information zum aktuellen Verkehrszustand im Straßennetz

Viele Ereignisse beeinflussen die Situation im Straßenverkehr: geplante Einschränkungen wie Baustellen oder Veranstaltungen, aber auch nicht vorhersehbare Ereignisse wie Unfälle, Parken in zweiter Reihe oder Ausfälle von LSA. Verkehrsmodelle sind jedoch auf die Verfügbarkeit eben dieser Einflussfaktoren angewiesen und können nicht vorhersehbare Ereignisse kaum abbilden.

Eine mögliche Lösung für dieses Problem besteht in der Nutzung von Floating Car Data. Mit ihnen können die aktuellen Geschwindigkeiten abschnitts- und richtungsbezogen erfasst werden und sie enthalten die Wirkungen der oben aufgeführten Einflüsse in ihrer Gesamtheit. Die Notwendigkeit, Informationen zu unvorhergesehenen Ereignissen bereitzustellen, entfällt somit.

Durch ein besonderes, neues Verfahren zur Datenfusion von FCD mit lokalen Messdaten und verfügbaren Meldungen wird Konsistenz zwischen den lokalen Daten und den netzweiten FCD-Informationen sichergestellt. Durch die hohe Qualität und Aktualität der kommerziell verfügbaren FCD wird die Berechnung der aktuellen Verkehrslage in Echtzeit ermöglicht. Neben der Nutzung auf den Autobahnen ist damit auch die innerstädtische Nutzung dieser Daten für die Verkehrslenkung, -steuerung und -information sehr attraktiv.

Es wird ein System zur Berechnung der aktuellen Verkehrslage benötigt, welches lokale Messdaten, im VSM verfügbare FCD und extern bezogene FCD fusioniert. Als Eingangsgrößen können neben der lokalen Detektion und den FCD auch georeferenzierte Meldungen (insbesondere Sperrungen) berücksichtigt werden.

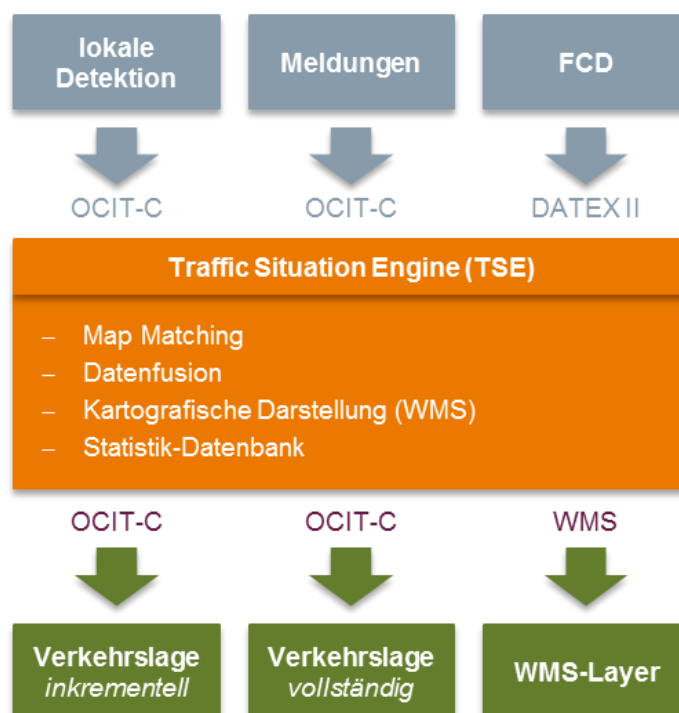


Abbildung 4-2: Allgemeiner Datenfluss der Verkehrslageberechnung

Zur Verkehrslageermittlung ist die grundlegende Ergänzung des Messstellennetzes auf den relevanten Strecken um Detektoren in der freien Strecke erforderlich.

4.4 Umweltmonitoring

Statische Eingangsdaten werden einmalig bei Implementierung des Systems zusammengestellt und müssen nur bei Änderung manuell aktualisiert werden. Der Import der statischen Daten erfolgt für ein definiertes Format mit in IMMIS^{mt} vorhandenen Schnittstellen. Es müssen die folgenden Daten bereitgestellt werden.

4.4.1 Straßennetz

Übergabe des richtungsbezogenen Straßennetzes in Form eines Geodatensatzes (Shape-Datei).

4.4.2 Bebauungsdaten

Übergabe der Bebauungsdaten in Form eines Geodatensatzes (Shape-Datei).

4.4.3 Emissionsdaten

Zur Berechnung der städtischen Hintergrundbelastung müssen Emissionsquellen, die sich im Stadtgebiet befinden, in IMMIS^{mt} integriert werden. Diese Emissionsquellen können als Flächen-, Punkt- oder Linienquellen importiert werden.

4.4.3.1 Punktquellen

Punktquellen stellen Orte mit starken Emissionen dar, zum Beispiel Kraftwerke. Die Angabe erfolgt als Geodatensatz (z.B. Punkt-Shapefile) mit folgenden Feldinformationen

Tabelle 4-1: Angaben statische Punktquellen

Angabe	Anmerkung
ID	Optional
Height	Höhe der Quelle, Angabe in Meter
Temp	Temperatur, Angabe in °C
VolStr	Volumenstrom, Angabe m ³ /h
EM_Stoff	Emission, Angabe in t/a
Typ	Typ 1-11 (Ganglinientyp)

4.4.3.2 Linienquellen

Linienquellen sind zum Beispiel Bahntrassen, Schifffahrtmissionen. Die Angabe erfolgt als Geodatensatz (z.B. Linien-Shapefile) mit folgenden Feldinformationen

Tabelle 4-2: Angaben statische Linienquellen

Angabe	Anmerkung
ID	Optional
Height	Höhe der Quelle, Angabe in Meter
Width	Breite der Linienquelle, Angabe in Meter
V_avg	Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit, Angabe km/h
EM_Stoff	Emission, Angabe in g/(m*d)
Typ	Typ 1-11 (Ganglinientyp)

4.4.3.3 Flächenquellen

Flächenquellen werden üblicherweise über die Emissionskataster der Städte ermittelt. Die Angabe erfolgt als Geodatensatz (z.B.: Polygon-Shapefile) als Quadrat mit folgenden Feldinformationen:

Tabelle 4-3: Angaben statische Flächenquellen

Angabe	Anmerkung
ID	Optional
Height	Höhe der Quelle, Angabe in Meter
EM_Stoff	Emission, Angabe in t/a
Type	Typ 1-11 (Ganglinientyp)

4.4.4 Versorgung mit dynamischen Daten

Dynamische Eingangsdaten werden von IMMIS^{mt} durch eine entsprechende Abfrage beim liefernden System, z.B. dem Verkehrsmanagementsystem abgefragt und importiert. Soweit dynamische Daten in kürzeren Intervallen als dem Berechnungsintervall zur Verfügung gestellt werden, werden die Daten von IMMIS^{mt} auf Halbstundenwerte aggregiert.

4.4.4.1 Verkehrsdaten aus Datenmanagementsystemen

Das Datenmanagementsystem stellt Verkehrsdaten für das Verkehrsstraßennetz bereit. Diese werden über die Schnittstelle von IMMIS^{mt} abgefragt. Die Definition der Verkehrsdatenschnittstelle gilt sowohl für die aktuellen als auch für die prognostizierten Verkehrsdaten.

Es müssen richtungsgetrennte Verkehrsdaten bereitgestellt werden, entweder aggregiert je Fahrtrichtung oder als spurfeine Werte. In Tabelle 4-4 sind die relevanten Werte, die zur Verfügung gestellt werden sollten, aufgelistet.

Für einen zu betrachtenden Straßenabschnitt müssen für beide Fahrtrichtungen, d. h. für den gesamten Straßenquerschnitt Daten zur Verfügung stehen. Einbahnstraßen müssen gesondert ausgewiesen und dementsprechend nur mit Daten für eine Fahrtrichtung versorgt werden.

Tabelle 4-4: Abschnittsbezogene dynamische Eingangsdaten für IMMIS^{mt} je Detektor/-gruppe

Feldname	Beschreibung
ID	ID des Detektors / ID der Detektorgruppe
q_PKW	Anzahl PKW pro Stunde
v_KFZ_mittel	Mittlere lokale Geschwindigkeit der KFZ in km/h
q_KFZ	Anzahl KFZ pro Stunde
q_SLKW	Anzahl schwere Nutzfahrzeuge (> 3.5t) pro Stunde
q_LLKW	Anzahl leichte Nutzfahrzeuge (<3.5 t) pro Stunde
q_KRAD	Anzahl Motorräder pro Stunde
q_LBUS	Anzahl Linienbusse pro Stunde
q_RBUS	Anzahl Reisebusse pro Stunde
LOS1	Anteil Fahrzeuge im Verkehrszustand freier Verkehr (LOS1, nach HBEFA)
LOS2	Anteil Fahrzeuge im Verkehrszustand dichter Verkehr (LOS2, nach HBEFA)
LOS3	Anteil Fahrzeuge im Verkehrszustand gesättigter Verkehr (LOS3, nach HBEFA)
LOS4	Anteil Fahrzeuge im Verkehrszustand Stop&Go (LOS4, nach HBEFA)

Falls einige Parameter nicht bereitgestellt werden können, können in IMMIS^{mt} Pauschalwerte definiert werden.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

4.4.4.2 Meteorologiedaten

Für die Berechnungen von IMMIS^{mt} werden meteorologische Eingangsdaten benötigt. Tabelle 4-5 listet die notwendigen meteorologischen Parameter auf. Diese meteorologischen

Eingangsdaten können von nahegelegenen meteorologischen Messstationen bezogen werden.

Tabelle 4-5: Für die Berechnung notwendige Meteorologiedaten

Feldname	Beschreibung
Station-ID	eindeutige Zuordnungs-ID der Messstation
Windrichtung	Grad
Windstärke	m/s
Lufttemperatur	Grad Celsius
Ausbreitungsklasse	nach Klug/Manier
Globalstrahlung	W/m ²

Die Meteorologiedaten müssen mindestens jedes Berechnungsintervall aktualisiert werden.

Abruf vom Datenmanagementsystem

In IMMIS^{mt} ist eine Schnittstelle zum Datenmanagementsystem implementiert, so dass der Abruf von meteorologischen Daten aus dem Datenmanagementsystem möglich ist.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

Die Daten werden jedes Berechnungsintervall aktualisiert.

Abruf von METAR-Reports

Neben dem Abruf der meteorologischen Parameter aus dem Datenmanagementsystem ist es möglich, diese Daten ganz oder in Teilen aus einer weiteren Datenquelle, den METAR-Reports, zu beziehen. Die METAR-Daten stammen aus Messungen von Flughäfen (<https://www.aviationweather.gov/>).

Die Schnittstelle ist als Datei-Schnittstelle realisiert. Die Daten werden durch direkte https-Aufrufe vom IMMIS^{mt} Rechner von einer Webseite abgerufen und in einer temporären Datei zwischen gespeichert. Das Importmodul von IMMIS^{mt} überträgt die Daten direkt in das IMMIS^{mt}-System.

Die Daten werden jedes Berechnungsintervall aktualisiert.

Abruf aus weiteren Daten

Es können zusätzliche Schnittstellen definiert werden, um die meteorologischen Eingangsdaten aus weiteren Quellen (z.B. DWD oder Erfurter Klimamessstationen) in IMMIS^{mt} zu importieren. Diese Schnittstellen können je nach Anforderung als XML- oder Datei-Schnittstelle umgesetzt werden. Die Daten können via https oder ftp abgerufen werden.

Die Daten werden jedes Berechnungsintervall aktualisiert.

4.4.4.3 Luftschadstoffdaten

IMMIS^{mt} benötigt für die Berechnungen der Hintergrundbelastung halbstündliche Messdaten der aktuellen Luftschadstoffsituation. Tabelle 6 6 listet die notwendigen Messdaten der Luftschadstoffe auf. Die Daten sollten möglichst zeitnah nach Messung bereits gestellt werden. Bei Bedarf können weitere Messgrößen mit aufgenommen werden.

Tabelle 4-6: Dynamische Luftschadstoffmessdaten in halbstündlicher Auflösung

Feldname	Beschreibung
Station-ID	eindeutige Zuordnungs-ID der Messstation
NO _x	In µg/m ³
NO ₂	In µg/m ³
PM10	in µg/m ³
PM2.5	in µg/m ³
O ₃	in µg/m ³

Abruf vom Datenmanagementsystem

In IMMIS^{mt} ist eine Schnittstelle implementiert, so dass der Abruf von Luftschadstoffmessdaten aus dem Datenmanagementsystem möglich ist.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

Die Daten werden jedes Berechnungsintervall aktualisiert.

Abruf aus weiteren Quellen

Neben dem Abruf der Luftschadstoffmessdaten aus dem Datenmanagementsystem ist es ebenfalls möglich diese Daten ganz oder in Teilen aus weiteren Datenquellen zu beziehen.

Diese Schnittstellen können je nach Anforderung als XML- oder Datei-Schnittstelle umgesetzt werden. Die Daten können via https oder ftp abgerufen werden.

Die Daten werden jedes Berechnungsintervall aktualisiert.

4.4.4.4 Prognose-Meteorologiedaten

Für die Mittelfrist-Prognose von Immissionen im Straßenraum im Horizont +1 Tag (Option) benötigt IMMIS^{mt} meteorologische Prognosedaten. Dabei können z. B. frei verfügbare Prognosedaten des DWD verwendet werden. Diese Schnittstelle kann je nach Anforderung als XML- oder Datei-Schnittstelle umgesetzt werden. Die Daten können via https oder ftp abgerufen werden.

Die Daten werden einmal täglich aktualisiert.

4.4.4.5 Prognose-Luftschadstoffdaten

Für die Berechnung der prognostizierten Immissionen im Straßenraum (Mittelfristprognose mit Prognosehorizont +1 Tag; Option) benötigt IMMIS^{mt} Prognosedaten der Luftschadstoffe u. a. zur Ermittlung der Hintergrundbelastung. Es können z. B. CAMS-Prognosedaten verwendet werden. (<https://atmosphere.copernicus.eu/>). Diese Schnittstelle kann je nach Anforderung als XML- oder Datei-Schnittstelle umgesetzt werden. Die Daten können via https oder ftp abgerufen werden.

Die Daten werden einmal täglich aktualisiert.

4.4.5 Exportschnittstellen

4.4.5.1 Emissionsdaten

In IMMIS^{mt} ist eine Schnittstelle implementiert, mit der die berechneten Emissionen für den aktuellen Zeitschritt und als Prognose an das Datenmanagementsystem übertragen werden können. Dabei sind die Emissionen referenziert auf das Straßennetz.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

Die Daten werden für jedes Berechnungsintervall nach erfolgter Berechnung übertragen. Die prognostizierten Daten der Mittelfristprognose (Prognosehorizont +1 Tag) werden einmal täglich übermittelt.

4.4.5.2 Immissionsdaten

In IMMIS^{mt} ist eine Schnittstelle implementiert, mit der die berechneten Immissionen für den aktuellen Zeitschritt und als Prognose an das Datenmanagementsystem übertragen werden können. Dabei sind die Immissionen referenziert auf das Straßennetz.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

Die Daten werden für jedes Berechnungsintervall nach erfolgter Berechnung übertragen. Die prognostizierten Daten der Mittelfristprognose (Prognosehorizont +1 Tag) werden einmal täglich übermittelt.

4.4.5.3 Steuerungsparameter für das Verkehrsmanagement

In IMMIS^{mt} ist eine Schnittstelle implementiert, mit der im Falle der Überschreitung von definierten Schwellwerten Steuerungsparameter an das Datenmanagementsystem übertragen werden können.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

Die Daten werden für jedes Berechnungsintervall nach erfolgter Berechnung übertragen.

4.4.5.4 Übertragung weiterer Daten an das Datenmanagementsystem

Über definierte Schnittstellen können weitere Daten, wie z. B. Meteorologie- oder Luftschadstoffmessdaten, an das Datenmanagementsystem übertragen werden, die von anderen Datenquellen in IMMIS^{mt} importiert werden.

Die Schnittstelle ist als konfigurierbare XML-Schnittstelle realisiert.

4.4.5.5 Implementierung

In der Einrichtungsphase wird IMMIS^{mt} zunächst auf einem Rechner (IMMIS^{mt}-Rechner) innerhalb der Netzwerkumgebung der IVU Umwelt GmbH implementiert. Darauf werden die Systemkonfigurationen, Anbindung an das Datenmanagementsystem über die Schnittstellen, etc. getestet. Es ist daher ein Zugang zum Datenmanagementsystem der Stadt erforderlich, der den Kontakt über die Schnittstelle vom IMMIS^{mt}-Rechner zum Datenmanagementsystem erlaubt (put & get).

Zur Migration des Systems beim Auftraggeber ist ein Fernwartungszugang (z. B. Remote-Zugang via VPN) zur Verfügung zu stellen, der auch während der Laufzeit des Wartungsvertrags weiterhin zur Wartung und ggf. zur Aktualisierung von IMMIS^{mt} bestehen bleiben sollte.

Das IMMIS^{mt}-System, das während der Einrichtungsphase bei der IVU Umwelt GmbH aufgebaut wurde, kann während der Laufzeit des Wartungsvertrags ohne Mehrkosten als Kontrollsystem weiter betrieben werden. Dafür muss der Zugang des IMMIS^{mt}-Rechners bei der IVU Umwelt GmbH zum Datenmanagementsystem zum Abruf der Eingangsdaten (z. B. Verkehrsdaten) auch nach der Einrichtungsphase bestehen bleiben.

4.4.5.6 Systemvoraussetzungen

Im Folgenden werden die Systemvoraussetzungen¹⁷ beschrieben:

Betriebssystem:

- Windows 7/ Windows 10
- Windows Server 2008 R2 Servicepack 1/ Windows Server 2012 R2 oder neuer
- Das Betriebssystem muss, in Abstimmung mit IVU Umwelt, auf eine aktuelle Version umgestellt werden, falls beispielsweise durch den Anbieter des Betriebssystems der Support eingestellt wird.

Hardware:

Angegeben sind die Mindestanforderungen an die Hardware. Je nach Anzahl der Straßenabschnitte für die die Luftschadstoffbelastung berechnet werden soll, können auch höhere Anforderungen notwendig sein.

- RAM: min. 4 GB
- Prozessor: min. 4 Kerne
- Festplatte: bevorzugt SSD, 2 Partitionen, IMMIS^{mt} befindet sich auf D:\ (min. 200 GB, ggf. für Archivierung der Daten mehr notwendig), Betriebssystem und sonst. Programme auf C:\

Software:

- Microsoft .NET Framework 3.5 und 4.7
- R (freie Programmiersprache für statistische Berechnungen und Graphiken)
- Texteditor (z. B. Notepad++)
- Microsoft Access Database Engine (Datenbanktreiber Microsoft.Jet.OLEDB.4.0)

4.5 Planungen für Auslöse- und Aufhebekriterien

4.5.1 Grobplanung des Ablaufes einer umweltsensitiven Steuerung

Auf Grundlage der im Verkehrs- und Umweltmonitoring erzeugten Daten sollen Steuerungs- und Informationsstrategien geschaltet werden, die in den Verkehr eingreifen. Diese Strategien können manuell geschaltet oder automatisch ausgelöst und zurückgenommen werden.

Für das Auslösen und Zurücknehmen werden Schwellen individuell für jede Strategie definiert, wobei die Schwellen sehr unterschiedlich sein können. Theoretisch kann die Schwelle z.B. eine Uhrzeit sein, wenn die jeweilige Strategie täglich geschaltet werden soll. In der Regel stellen die Schwellen jedoch Mess- und Prognosewerte dar. Die Schwellen stehen nicht zwangsläufig mit den vorgeschriebenen Grenzwerten in Zusammenhang. Sie können z.B. geringer sein, um langfristige Effekte zu erzielen.

¹⁷ Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Monitoringsystem als Lizenz bei der Stadt Kassel betrieben wird. Alternativ ist eine Lösung als Application Service Provider (ASP) möglich.

Auslösung der Maßnahmen mit Aktionsplänen

In der Strategieebene des Verkehrsmanagements lassen sich Eingangsgrößen und Bedingungen miteinander verknüpfen, um daraus bestimmte Abläufe - sog. Aktionspläne - starten zu können. In Form von Wenn-Dann-Abfolgen, werden Auslösekriterien und Endkriterien bestimmt, die zu bestimmten Aktionen führen. Diese Aktionen können entweder manuell durch den Benutzer geschaltet werden oder in Abhängigkeit von Auslösekriterien automatisch vom System geschaltet werden.

Diese Auslösekriterien können z.B. sein (Kombinationen sind möglich):

- Wochentage
- Uhrzeiten
- Verkehrsbelastungen
- Luftschadstoffkonzentrationen
- Etc.

Diese können durch UND- und ODER-Bedingungen miteinander verknüpft werden und lösen bei Zutreffen Aktionen aus oder nehmen diese wieder zurück.

Die Aktion kann z.B. die Schaltung vorher definierter Signalpläne, die Verteilung von Verkehrsinformationen oder ähnliches sein. Angesteuert werden können alle am Verkehrsrechner angeschlossenen Systeme (LSA, Informationstafeln, Online-Daten), soweit diese im System versorgt sind. In der folgenden Tabelle ist eine schematische Übersicht möglicher Aktionsstrategien dargestellt:

Tabelle 4-7: Schematische Übersicht Gesamtstrategien (abstraktes Beispiel)

	Verkehrliche Maßnahme	Aktivierung				Steuerungsstrategie	Informationsstrategie		Aktionsstrategie	
							Pre-Trip*	On-Trip*		
1	Koordinierung	x	x	x	x	1_2b	x		1_2b_pre	
2	Steuerung des Verkehrszuflusses	a		x				x	1_2ac_on	
		b	x		x	x	1_2bc	x		1_2bc_pre
		c		x	x	x			x	1_2c_on

* Pre-Trip-Informationen werden mit Angabe der voraussichtlich geschalteten Aktionsstrategie bereits einen Tag vorher auf den Informationsmedien angezeigt

** On-Trip-Informationen werden während einer aktuell laufenden Aktionsstrategie angezeigt

5. Konkretisierung und Ergänzung IVS-orientierter Maßnahmen

5.1 Grobkonzept für eine umweltsensitive Steuerung

Das wesentliche Konzept der umweltorientierten Steuerung für die Stadt Kassel besteht in der bedarfsorientierten, temporären Auslösung von speziellen Signalprogrammen an ausgewählten LSA, um den Kfz-Verkehr in den mit NO₂ hoch belasteten Straßenabschnitten („Hotspots“) zu reduzieren und flüssiger zu gestalten. Aufgrund der Topographie der Stadt Kassel kommt der Vermeidung bzw. Reduktion der bergauf fahrenden Kfz-Ströme eine besondere Bedeutung zu.

Begleitet werden die Eingriffe in die LSA-Steuerung durch ein Informationskonzept. Hierzu zählen u.a. auch neu zu errichtende Informationstafeln am Straßenrand, die auf bevorstehende oder aktuell geschaltete UVM-Maßnahmen aufmerksam machen und damit das Verständnis für die Eingriffe erhöhen sollen. Die zu erwartenden Verlagerungseffekte auf andere Straßen sollen reduziert werden, indem durch Vorabinformation und durch eine Steigerung der Attraktivität und Leistungsfähigkeit des ÖPNV eine modale Verlagerung erzielt wird. Im Vordergrund stehen hierbei die Tram- und RegioTram-Linien.

Insofern sind die UVM-Maßnahmen nicht isoliert zu betrachten, sondern stellen vielmehr einen Baustein in einem gesamten Maßnahmenpaket dar.

5.2 Grobplanung der Maßnahmen

Aus den Gesprächen mit der Stadt Kassel hat sich eine Maßnahmenstrategie aus verschiedenen Einzelmaßnahmen ergeben, die im Folgenden vorgestellt wird.

5.2.1 Einführung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements

Diese Maßnahme besteht aus den zwei Schwerpunkten „Verstetigung des Verkehrsflusses“ und „dynamische Verkehrsinformation“.

Durch dynamische Anpassung der Lichtsignalsteuerung innerhalb und vor den Koordinierungsstrecken sowie durch temporäre Änderungen einzelner Koordinierungsabläufe soll eine Verstetigung des Verkehrs und damit eine Reduzierung der Anzahl der Halte in den betreffenden kritischen Streckenabschnitten erreicht werden. So kann eine Verbesserung der Verkehrsqualität erreicht werden, die zu einer Reduzierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen führt.

Für die Ausarbeitung der konkreten Einzelmaßnahmen müssen unter anderem die Arbeitsschritte

- Besondere Berücksichtigung von geographischen Gegebenheiten (z.B. Bergauffahrten)
- Veränderungen der Progressionsgeschwindigkeiten
- Änderung der Umlaufzeiten
- Erweiterung des Koordinierungsnetzes

auf Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit in den einzelnen Knoten hin überprüft werden.

Unterstützend kann eine Steuerung des Verkehrszuflusses durch dynamische Anpassung der Lichtsignalsteuerung im Vorfeld der kritischen Streckenabschnitte wirken. Dies kann dort eine Reduzierung der Verkehrsstärke und in deren Folgen auch eine Verbesserung der Ver-

kehrqualität und damit eine Reduzierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffemissionen erreichen.

Für die Ausarbeitung der konkreten Einzelmaßnahmen müssen auf das Gebiet bezogen unter anderem die Arbeitsschritte

- Besondere Berücksichtigung des ÖPNV (um negative Beeinflussung zu minimieren - besonders bei Mischfahrstreifen)
- Vermeidung von Schleichverkehren
- Auswertungen der Stauflächen und -längen
- Örtliche Gegebenheiten

durchgeführt werden.

Für die Umsetzung an den einzelnen LSA müssen die jeweiligen Steuerungen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Der zweite Schwerpunkt stellt die dynamische Verkehrsinformation dar. Die Verkehrsteilnehmer können so gezielt ontrip bei hohen verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen über die aktuelle Situation sowie die eingeleiteten Maßnahmen informiert werden. Dies kann z.B. über dynamische Hinweisschilder, eine App, etc. erfolgen.

Informiert werden kann über z.B.:

- Grenzwertüberschreitungen NO₂
- Fahrverbote- bzw. Einschränkungen
- Ausweichmöglichkeiten (ÖPNV, etc.)
- Umleitungen bzw. Umfahrungen

5.2.2 Einführung einer dynamischen Umweltinformation mit Prognose (Tag+1)

Durch eine dynamische Umweltinformation mit Prognose für die nächsten 24 Stunden (Tag+1) können die Verkehrsteilnehmer gezielt über eine zu erwartende kritische Belastungssituation hinsichtlich der verkehrsbedingten Luftschadstoffe im Stadtgebiet und die Auslösung von Maßnahmenstrategien zur Reduzierung der Belastung durch den Kfz-Verkehr informiert werden (über z.B. dynamische Hinweisschilder, App, etc.)

Mit dynamischer Umweltinformation sollen bei zu erwartender kritischer Schadstofflage die Verkehrsteilnehmer vorab informiert werden, um eine

- veränderte Verkehrsmittelwahl
- Veränderte Zielwahl
- Verändertes Zeitverhalten

zu erreichen.

Die Vorab-Information soll die Verkehrsteilnehmer am Vortag über die für den Folgetag zu erwartende Luftschadstoffbelastung informieren. Für die Vorab-Information muss ein Verfahren eingesetzt werden, das sowohl die Verkehrs- als auch die Umweltsituation des folgenden Tages prognostiziert.

Durch eine rechtzeitige Information vor Beginn der Schaltungen und den damit verbundenen verkehrlichen Einschränkungen sollen die Verkehrsteilnehmer in die Lage versetzt werden, sich rechtzeitig auf die jeweils erwartete Situation einzustellen.

Dabei besteht die Zielsetzung darin, 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 zu nutzen.

Die dabei gewonnenen guten Erfahrungen führen in der Regel bei einem Teil der Verkehrsteilnehmer auch zu einer nachhaltigen Veränderung des Mobilitätsverhaltens.

Dazu müssen die erforderlichen Voraussetzungen geschaffen werden, um den Verkehrsteilnehmern über verschiedene Medien (stationär und mobil) umfassende Informationen bereitzustellen und ihnen eine intermodale Routenplanung (multikriteriell, unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrslage, Radrouting, P+R und B+R, ÖV-Routing, Car- und Bike-sharing-Routen) zu ermöglichen.

Darüber hinaus sind weitere Maßnahmen erforderlich, um die modalen Verlagerungen zu unterstützen. Hierzu zählt insbesondere die Steigerung der Attraktivität und der Leistungsfähigkeit der Tram- und RegioTram-Linien sowie der P+R-Infrastruktur.

5.2.3 Information mittels App und virtuellen Schildern

Ein weiteres Informationsmedium können virtuelle Informationstafeln im Zusammenhang mit einer mobilen Applikation sein. Die Nutzung mobiler Applikationen erhöht wesentlich den Verbreitungsrahmen für die umweltorientierten Informationen (bspw. für eine frühzeitige Information der Pendler).

Grundlage ist eine städtische Mobilitätsplattform, um den Verkehrsteilnehmern gleichzeitig Alternativen zur Sicherung ihrer Mobilität anzuzeigen. Darin werden Echtzeit-Verkehrsinformationen und alternative Mobilitätsangebote anbieterneutral gebündelt und aufbauenden Informationsdiensten zur Verfügung gestellt (vgl. Kapitel 5.2 und 5.7).

Dieses Medium wirkt unterstützend zu den beiden oben genannten Maßnahmen.

5.3 Mögliche Maßnahmenschwerpunkte

Nachfolgend werden die UVM-Maßnahmen zur Reduktion der NO₂-Belastung für die im Luftreinhalteplan 2013 (vgl. Kapitel 3.3.1 Tabelle 3-1) ausgewiesenen Hotspots dargestellt (siehe Kapitel 5.3.2. - 5.3.7).

Dabei wurden nur die Streckenabschnitte berücksichtigt, die in der Bewertung für das Bezugsjahr 2013 eine Grenzwertverletzung aufweisen. Die **Mauerstraße** wurde hier nicht weiter betrachtet, da dieser Abschnitt nur durch Busse des ÖPNV befahren wird und damit die NO₂-Belastung mit UVM-Maßnahmen nicht beeinflussbar ist. Zusätzlich wurde der Abschnitt der **Ysenburgstraße** in der Betrachtung behalten, da hier weiterhin mit hohen NO₂-Belastungen gerechnet wird.

Die einzelnen Hotspots werden ausführlich beschrieben und in der in Tabelle 5-1 dargestellten Kurzbeschreibungen jeweils zusammengefasst.

Hierbei wird hinsichtlich der Verkehrsstärken und der Verkehrsströme auf das Verkehrsmo-
dell der Stadt Kassel zurückgegriffen. Die Verkehrsqualität (Verkehrszustand nach HBEFA) wurde aus statistischen Auswertungen von Floating Car Data der Firma TomTom für das Kalenderjahr 2017 abgeleitet.

Tabelle 5-1: Übersicht Kurz-Beschreibung der Hotspots

Hotspot		<i>Benennung des jeweiligen Straßenabschnittes/Hotspots</i>
Besonderheiten, vorh. Bebauung		<i>Benennung von baulichen oder geographischen Besonderheiten, wie z.B. dichte Bebauung oder ansteigendes Gelände</i>
Problemstellung		<i>Mögliche Ursachen für den Hotspot, z.B. hoher Stop-and-go-Anteil, zu hohe Verkehrsmenge, schlechte Belüftung?</i>
Maßnahmen	Verstetigung	<i>Wie läuft die Bestandskoordinierung? Sind Änderungen nötig/möglich?</i>
	Steuerung	<i>Ist eine Steuerung des Verkehrszuflusses für diesen Hotspot möglich/nötig? Die Steuerung des Verkehrszuflusses ist dort möglich, wo genügend geeignete Rückstaupläche zur Verfügung steht.</i>
	Information	<i>Wo und wie kann/sollte an dieser Stelle informiert werden? Wenn die Verkehrsmenge zu hoch ist, ist eine entsprechende Information der Verkehrsteilnehmer anzustreben; bei Änderungen im Koordinierungsablauf ist eine Information zu prüfen</i>
Modal-Split		<i>Prüfung, ob ÖPNV auf der Strecke vorhanden ist</i>
Bemerkungen		<i>Gibt es Besonderheiten zu beachten?</i>
Technische Ausstattung		<i>Name und Nummer der Kreuzung</i>
Steuergerät		<i>Angabe des Steuergerädetyps</i>
Zentralenanschluss		<i>Welcher Zentralenanschluss ist vorhanden</i>
ÖPNV		<i>Welcher ÖPNV ist vorhanden? Busse und/oder Bahnen (meistens auf eigenem Gleiskörper)?</i>
Besonderheit		<i>Gibt es verkehrliche Besonderheiten zu beachten?</i>

5.3.1 Allgemeine Berechnungsgrundlagen nach HBEFA

Die Ermittlung der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen erfolgt anhand des Handbuchs für Emissionsfaktoren, Version 3.3. Im HBEFA besitzt der Verkehrszustand eine hohe Bedeutung für die Berechnung der Fahrzeugemission. Es werden dafür vier Level-of-Service unterschieden:

- LOS1 = flüssig
- LOS2 = dicht
- LOS3 = gesättigt
- LOS4 = Stop+Go

In einem späteren Echtzeit-Monitoringsystem müssen für die Modellierung der Umweltbelastung diese Stufen aktuell zur Verfügung gestellt werden. Dabei bedient man sich Verfahren, die Daten aus strategischen Verkehrsmessstellen mit Floating Car Data und Meldungen fusionieren.

Floating Car Data sind aktuelle Reisezeit- bzw. Reisegeschwindigkeitsmessungen aus Fahrzeugen. Derartige Daten werden im System bereits aus der Nutzung des Ampelphasenassistenten erzeugt, sie können noch zusätzlich von kommerziellen Anbietern wie beispielsweise TomTom, INRIX oder HERE erworben werden. Hierbei werden in der Regel keine Weg-Zeit-Daten einzelner Fahrzeuge übermittelt, sondern vielmehr mittlere Geschwindigkeiten als Repräsentanten für den jeweiligen richtungsbezogenen Streckenabschnitt und den je-

weiligen Zeitpunkt. Die Datenquellen sind u. a. portable oder in den Fahrzeugen fest eingebaute Navigationsgeräte sowie Smartphone-Apps und Daten von Mobilfunkanbietern.

Im Rahmen der vorliegenden Wirkungsanalyse wurde bereits ein solches Verfahren der VMZ Berlin für die Aufteilung der Verkehrsstärke auf die LOS-Anteile für den Nullfall eingesetzt. Als Datengrundlage wurde hierfür wurden FCD Daten des aktuellsten vollständig vorliegenden Jahres, des Kalenderjahres 2017, verwendet.

Die Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands erfolgt auf Basis von Geschwindigkeitsinformationen aus Floating Car Data der Firma TomTom. Hierbei werden die aktuellen Geschwindigkeitsinformationen, die auf dem Straßennetz abschnitts- und richtungsgetreunt vorliegen, mit den kinematischen Parametern der im HBEFA hinterlegten Fahrzyklen (hier: mittlere Geschwindigkeit) verknüpft.

Hierzu wurde eine abschnittsweise lineare Zuordnungsfunktion gebildet, in die vier mittlere Geschwindigkeiten der Verkehrszustände unter Berücksichtigung von Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit einfließen. Das Prinzip ist in der folgenden Abbildung dargestellt und wird im Folgenden weiter erläutert.

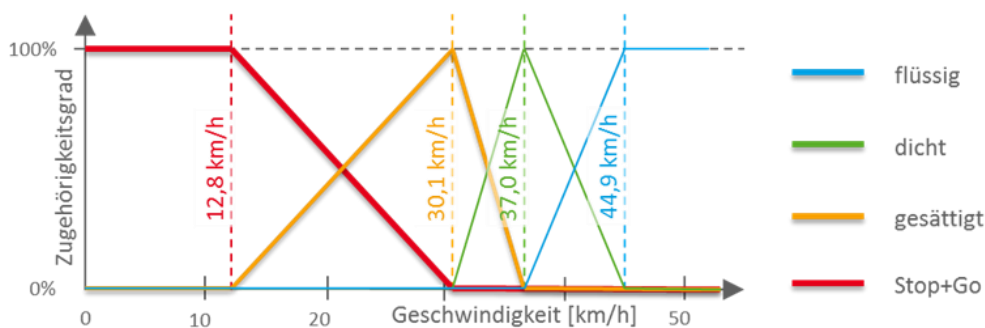


Abbildung 5-1 Zuordnungsfunktion (Prinzipdarstellung)

Die vier gestrichelt eingetragenen Geschwindigkeiten variieren je nach Kombination von Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit. Somit existieren entsprechend viele Zuordnungsfunktionen.

Zu erkennen ist, dass den meisten Geschwindigkeiten anteilig zwei benachbarte Verkehrszustände zugeordnet werden, die in Linearkombination bei der Berechnung der Luftschadstoffemissionen berücksichtigt werden. Ausnahme sind die Geschwindigkeiten unterhalb der Stop+Go-Geschwindigkeit (100 % Stop+Go) und oberhalb der flüssig-Geschwindigkeit (100 % flüssig). Diese Zuordnungsvorschrift folgt einer Fuzzy-Logik und ist deutlich robuster als eine Zuordnung über feste Schwellenwerte.

Für den Verkehrszustand „flüssig“ hat eine zusätzliche Zuordnungsregel Priorität: Der Auslastungsgrad darf 15 % nicht überschreiten, anderenfalls wird anstelle des Verkehrszustands „flüssig“ der Verkehrszustand „dicht“ ausgewiesen.

Unter Verwendung dieser Zuordnungsvorschrift(en) wurden die Verkehrsstärkeanteile der vier Verkehrszustände nach HBEFA abschnitts- und richtungsgetreunt für das Kalenderjahr 2017 berechnet. Das Jahr 2017 wurde als Grundlage für die Verkehrszustandsberechnung herangezogen, um eine möglichst aktuelle Abbildung für ein vollständiges Kalenderjahr zu erhalten (vgl. Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3).

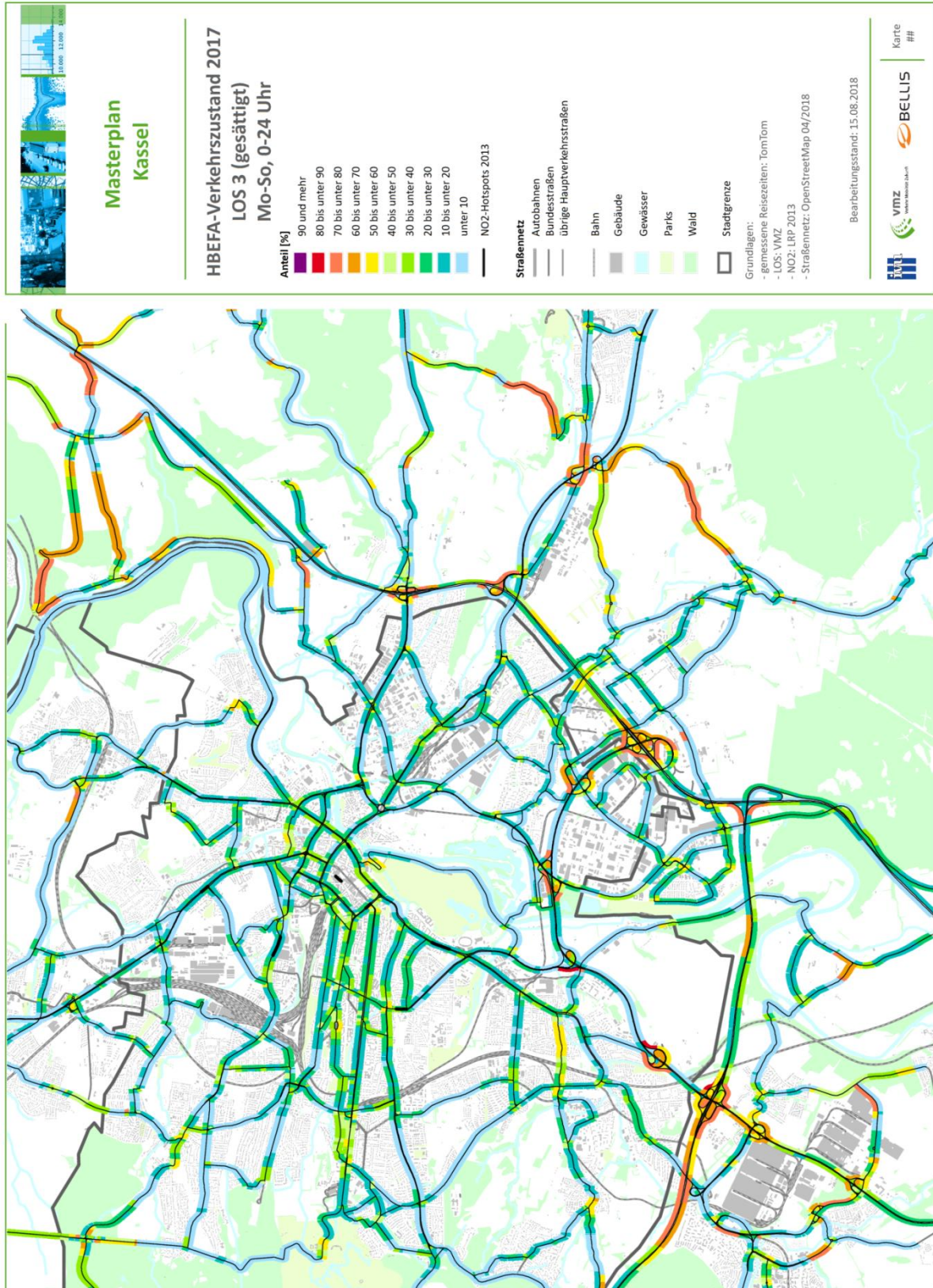


Abbildung 5-2: HBEFA-Verkehrszustand 2017 - LOS 3

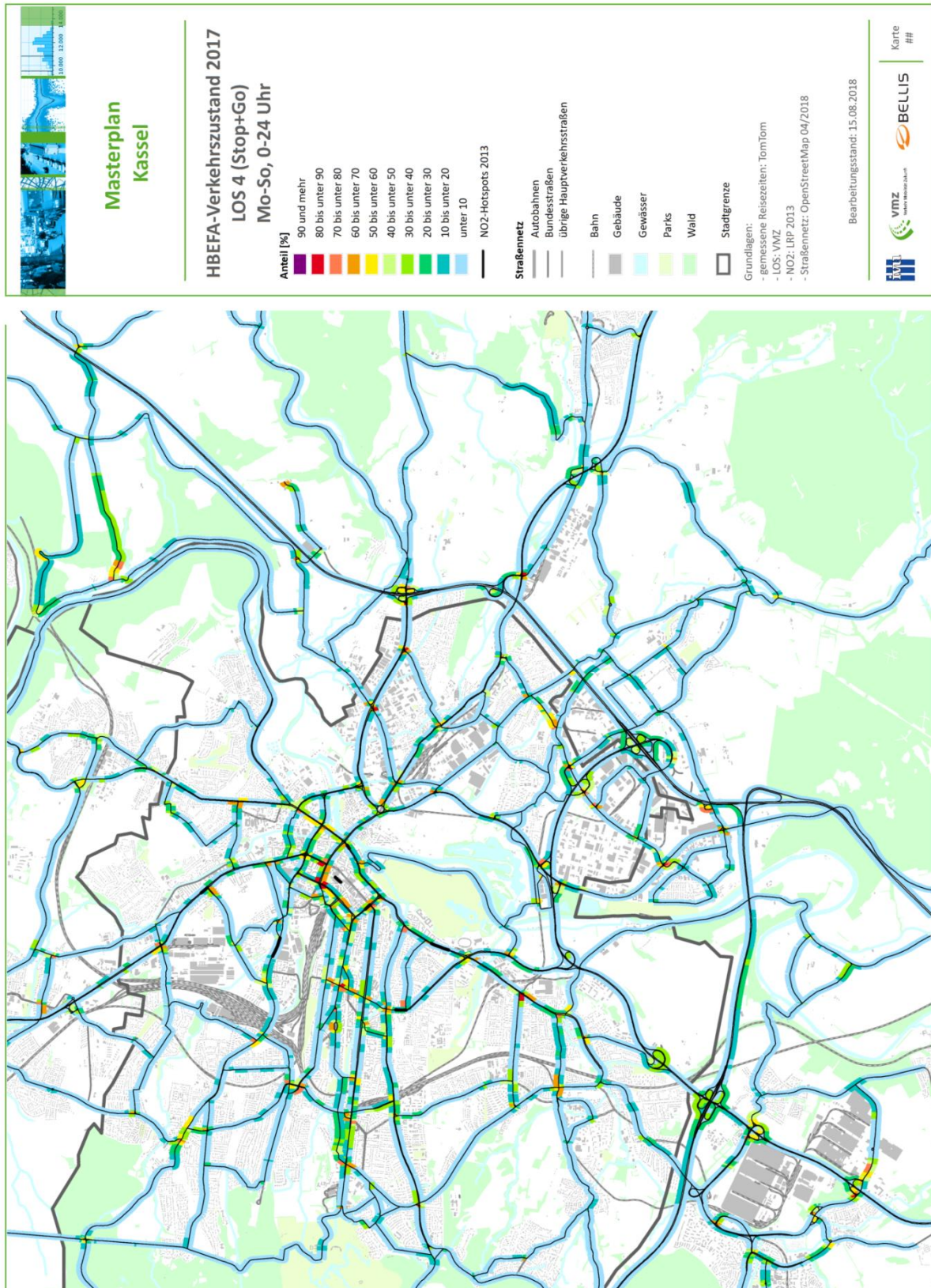


Abbildung 5-3: HBEFA-Verkehrszustand 2017 - LOS 4

In der hier vorgelegten Untersuchung werden die NO₂-Minderungswirkungen infolge der vorgeschlagenen Maßnahmen ausgewiesen. Voraussetzung dafür ist die Erstellung eines Nullfalls als Vergleichsgrundlage für die verkehrlichen und umweltseitigen Wirkungsanalysen. Modellrechnungen sind für vergleichende Betrachtungen zwischen zwei Szenarien besonders geeignet. Für die Ableitung der Belastungsdaten (Verkehrsstärke) wird dazu das bereitgestellte Verkehrsmodell, für den Verkehrszustand werden die oben dargestellten LOS-Anteile genutzt.

Tabelle 5-2: Verkehrlicher Nullfall (DTV auf Grundlage VISUM Verkehrsmodell, LOS auf Grundlage FCD)

VISUM-ID	Straßenname	DTV [Kfz/24h]	LOS1 frei	LOS2 dicht	LOS3 gesättigt	LOS4 Stop+Go
111458	Schönfelder Str. 50	21.474	5,0%	47,4%	28,9%	18,7%
118735	Brüderstr. 5	43.369	5,0%	46,3%	32,8%	15,9%
108972	Holländische Str. 157	31.570	5,0%	63,0%	19,3%	12,7%
100485	Fünffensterstr. 14	17.739	5,0%	39,6%	30,8%	24,6%
118150	Frankfurter Str. 102	28.931	5,0%	76,2%	14,7%	4,1%
110810	Wolfhager Str. 124	13.939	5,0%	77,5%	14,6%	2,9%
101813	Ysenburgstr. 29	22.223	5,0%	38,3%	21,3%	35,4%

Einen großen Einfluss auf die Maßnahmenentwicklung hatte die Tatsache, dass die Netzstruktur Kassels im Wesentlichen keine Alternativrouten zu den Radialen und den meisten betroffenen Straßenabschnitten in der Stadtmitte bietet.

5.3.2 Hotspot Brüderstraße (Altmarkt)

Der Hotspot Brüderstraße (B3) vor dem Knoten Kurt-Schumacher-Straße (Altmarkt) führt in Richtung Südwesten bergauf. Diese Fahrtrichtung ist bereits mit geringen Stop+Go-Anteilen verbunden (vgl. Abbildung 5-2 und Abbildung 5-3). Die Gegenrichtung im Zufluss zum Knoten Kurt-Schumacher-Straße zeigt höhere Stop+Go-Anteile auf. Bei einer zu empfehlenden Reduktion dieser Stauanteile durch eine angepasste LSA-Koordinierung ist zwingend darauf zu achten, dass die bergauf führende Richtung nicht verschlechtert wird. Muss zwischen der Priorisierung der beiden Fahrtrichtungen abgewogen werden, so ist dem bergauf fahrenden Kfz-Verkehr die Priorität einzuräumen und hier für möglichst wenige Beschleunigungsvorgänge zu sorgen.

Die Verkehrsstromanalyse zeigt, dass die Hauptströme aus Richtung Ihringshausen und Fasananhof in den Hotspot einfahren (siehe Abbildung 5-4). Eine Steuerung des Verkehrszuflusses wäre somit an der LSA 165 (Wielandstraße) zu empfehlen.

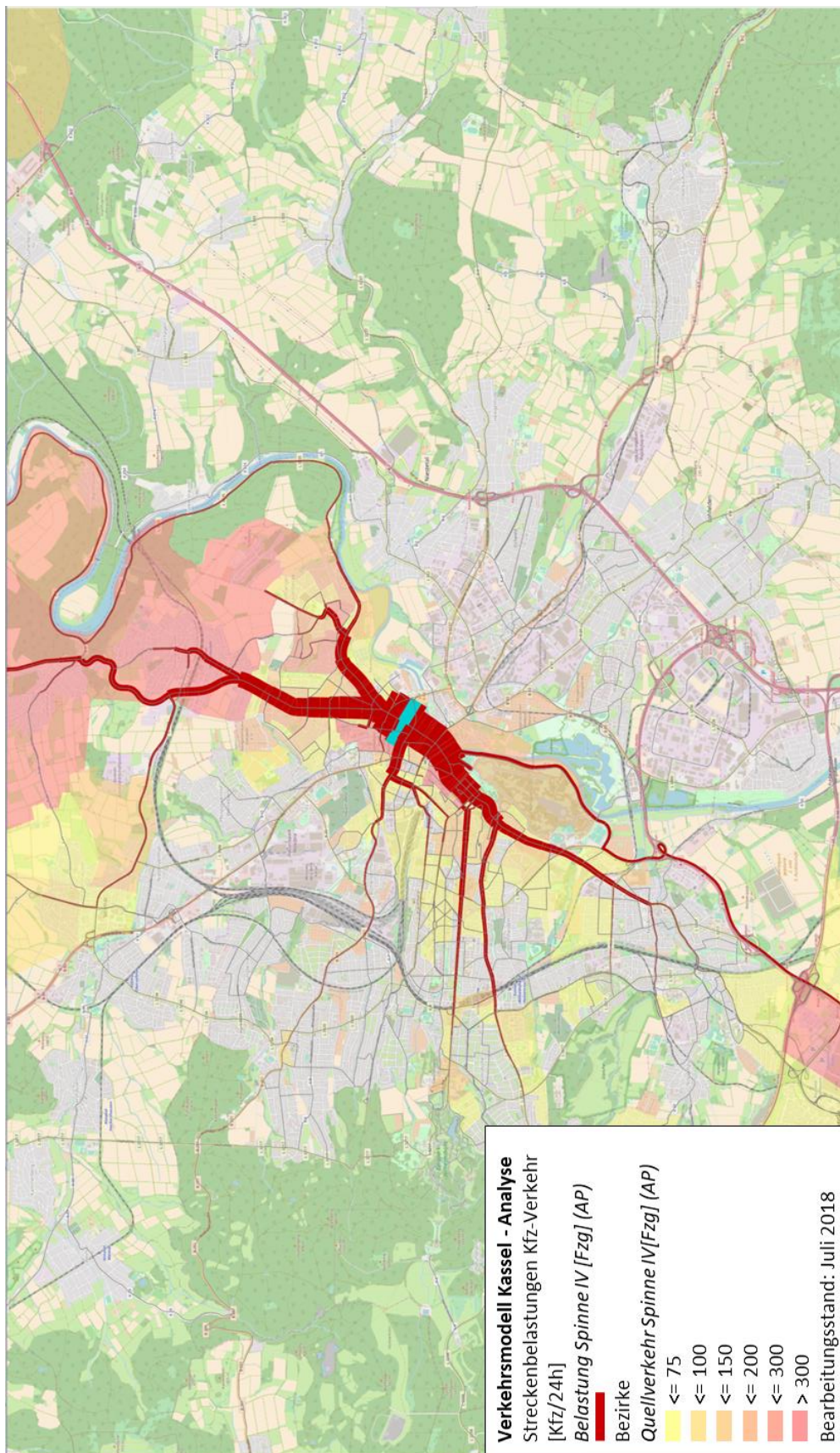


Abbildung 5-4: Verkehrsstromanalyse Brüderstraße (Altmarkt)

Im Vorfeld der steuernden LSA wird die Installation einer dynamischen Informationstafel empfohlen, die sowohl auf aktuell geschaltete UVM-Programme als auch auf zu erwartende Schaltungen am Folgetag aufmerksam machen soll. Zur modalen Verlagerung wird wiederum die Steigerung der Attraktivität und Leistungsfähigkeit der Tram- und RegioTram-Linien in Verbindung mit der Schaffung bzw. dem Ausbau von P+R-Angeboten empfohlen.

Tabelle 5-3: Übersicht Hotspot Brüderstraße

Hotspot		Brüderstraße / Altmarkt
Besonderheiten, vorh. Bebauung		ansteigender Streckenverlauf
Problemstellung		Stau hauptsächlich nachmittags
Maßnahmen	Verstetigung	Koordinierung führt im Bestand bergauf => Alternative Koordinierungsmöglichkeiten sorgfältig prüfen
	Steuerung	Empfehlung an K165 Ihringshäuser Straße / Wielandstraße
	Information	Empfehlung im Vorfeld von K165
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse und Bahn); Park+Ride vorhanden
Bemerkungen		-
Technische Ausstattung		K003 (Altmarkt)
Steuergerät		C940 ESX
Zentralenanschluss		OCIT Kabel
ÖPNV		Viel ÖV (eigener Gleiskörper) Busse und Bahnen
Besonderheit		Viel IV, Blindensignalisierung vorhanden
Technische Ausstattung		K165
Steuergerät		C920 ES
Zentralenanschluss		OCIT DSL
ÖPNV		Busse und Bahnen (eigener Gleiskörper)

5.3.3 Hotspot Frankfurter Straße

Der Hotspot Frankfurter Straße ist durch vergleichsweise niedrige Stop+Go-Anteile (4,1 %), jedoch hohe Kfz-Verkehrsstärken gekennzeichnet. Eine Steuerung der Kfz-Verkehrsstärke ist demzufolge die empfohlene UVM-Maßnahme für diesen Hotspot, die gleichermaßen zu reduzierenden Wirkungen in den Hotspots Schönfelder Straße und Brüderstraße (Altmarkt) führen kann. In Abbildung 5-5 sind die Verkehrsströme für diesen Abschnitt dargestellt.

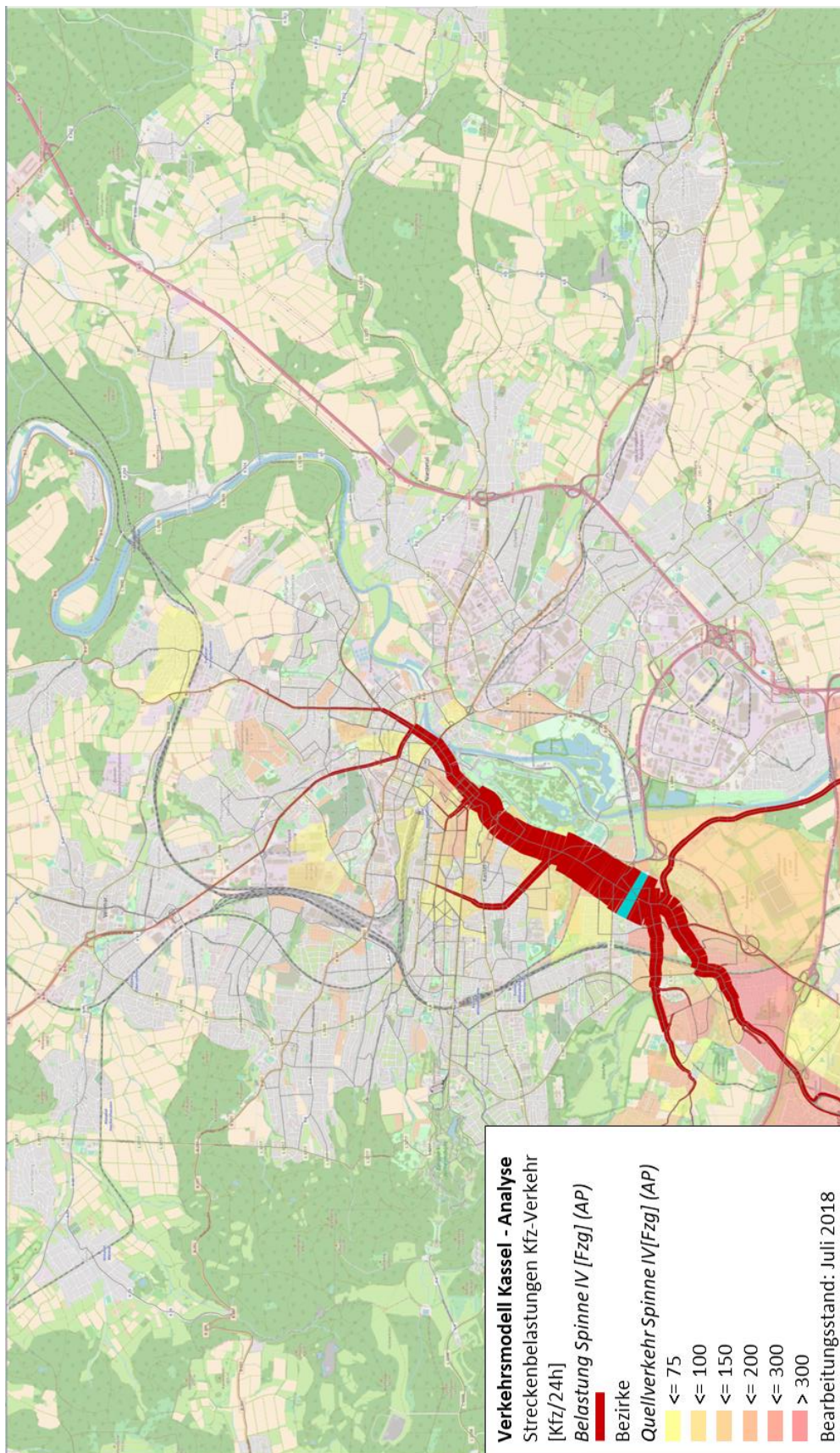


Abbildung 5-5: Verkehrsstromanalyse Frankfurter Straße

Tabelle 5-4: Übersicht Hotspot Frankfurter Straße

Hotspot		Frankfurter Straße
Besonderheiten, vorh. Bebauung		dichte Bebauung
Problemstellung		Verkehrsmenge zu hoch
Maßnahmen	Verstetigung	Koordinierung unauffällig
	Steuerung	Eignungsprüfung an den Knotenpunkten: - Kreuzung Frankfurter Straße / Korbacher Straße (K028) - Kreuzung Frankfurter Straße / Leuschnerstraße (K205) - Kreuzung Frankfurter Straße / Am Auestadion (K018) - Kreuzung Frankfurter Straße / Dennhäuser Str. (K029) - Kreuzung Am Auestadion / Damaschkestraße (K557)
	Information	Information nach Möglichkeit zur Verfügung stellen
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse und Bahn)
Bemerkungen		-
Technische Ausstattung		K028
Steuergerät		C800V
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse (Mischfahrstreifen)
Technische Ausstattung		K205
Steuergerät		C800V
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse und Bahnen (eigener Gleiskörper)
Technische Ausstattung		K018
Steuergerät		C800V
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse und Bahnen (eigener Gleiskörper)
Technische Ausstattung		K557
Steuergerät		bald C920 ES
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse (Mischfahrstreifen)
Technische Ausstattung		K029
Steuergerät		C800V
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse und Bahnen (eigener Gleiskörper)

Empfohlen wird ein steuernder Eingriff auf den Zubringerstraßen, an der K028 (Korbacher Straße), K205 (Leuschnerstraße), K018 (Am Auestadion), K029 (Dennhäuser Straße) und K557 (Damaschkestraße). Es sind alle LSA gemeinsam zu betrachten, um lokale Ausweichverkehre zu vermeiden, die dann trotzdem (auf einem anderen Weg) in den Hotspot einfahren.

Im Vorfeld der steuernden LSA wird die Installation dynamischer Informationstafeln empfohlen, die sowohl auf aktuell geschaltete UVM-Programme als auch auf zu erwartende Schaltungen am Folgetag aufmerksam machen sollen.

Für die modale Verlagerung ist langfristig eine Stärkung der Tram 3, 5, 6, 7, RT5 anzustreben.

5.3.4 Hotspot Fünffensterstraße

Der Hotspot Fünffensterstraße befindet sich an einem von ÖPNV-Fahrzeugen sehr stark frequentierten Knotenpunkt (110 ÖPNV-Fahrten in der Spitzenstunde).

Die Maßnahme für diesen Knotenpunkt besteht in einer Begrenzung des Zuflusses zur Fünffensterstraße auf die Verkehrsstärke, die in diesem Bereich ohne Stop-Go abwickelbar ist. Dies betrifft Anpassungen an den LSA K005 (Frankfurter Straße), K007 (Brüder-Grimm-Platz), K056 (Neue Fahrt), K008 (Ständeplatz) und K931 (Bürgermeister-Brunner-Straße). Ziel dieser Maßnahme ist nicht die Steuerung des Verkehrszuflusses insgesamt, sondern vielmehr die Verstetigung des Verkehrs im Bereich des Hotspots. Dies bedeutet eine Verlagerung der Stop+Go-Anteile aus dem Hotspot heraus in die besser durchlüfteten Bereiche vor dem Hotspot.

In Ermangelung alternativer Strecken (siehe Abbildung 5-6) wird von einer expliziten Zuflusssteuerung für diesen Hotspot abgesehen. Vielmehr entstehen positive, die Kfz-Verkehrsstärke senkende Effekte in Kombination mit der Steuerung des Verkehrszuflusses für den Hotspot Frankfurter Straße.

Im Rahmen einer UVM-Schaltung sollte der MIV nach Möglichkeit weniger dynamisch geschaltet werden, die Flexibilität des ÖPNV sollte dabei aber erhalten bleiben.

Tabelle 5-5: Übersicht Hotspot Fünffensterstraße

Hotspot		Fünffensterstraße
Besonderheiten, vorh. Bebauung		Rathaus, ebener Streckenverlauf
Problemstellung		In Spitzenstunden sind bis zu 110 ÖPNV-Fahrzeuge vorhanden
Maßnahmen	Verstetigung	Überprüfung der Koordinierung
	Steuerung	im direkten Umfeld nicht möglich
	Information	Information prüfen
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse und Bahn)
Bemerkungen		Überprüfung der VA-Logik, ob bei Grenzwertüberschreitungen der MIV statischer geschaltet werden kann (Grüne Welle), die Flexibilität des ÖPNV aber erhalten bleibt
Technische Ausstattung		K007
Steuergerät		C800 V
Zentralanschluss		OCIT-Kabel auch DSL
ÖPNV		Busse und Bahnen (eigener Gleiskörper)
Besonderheit		sehr viel ÖPNV

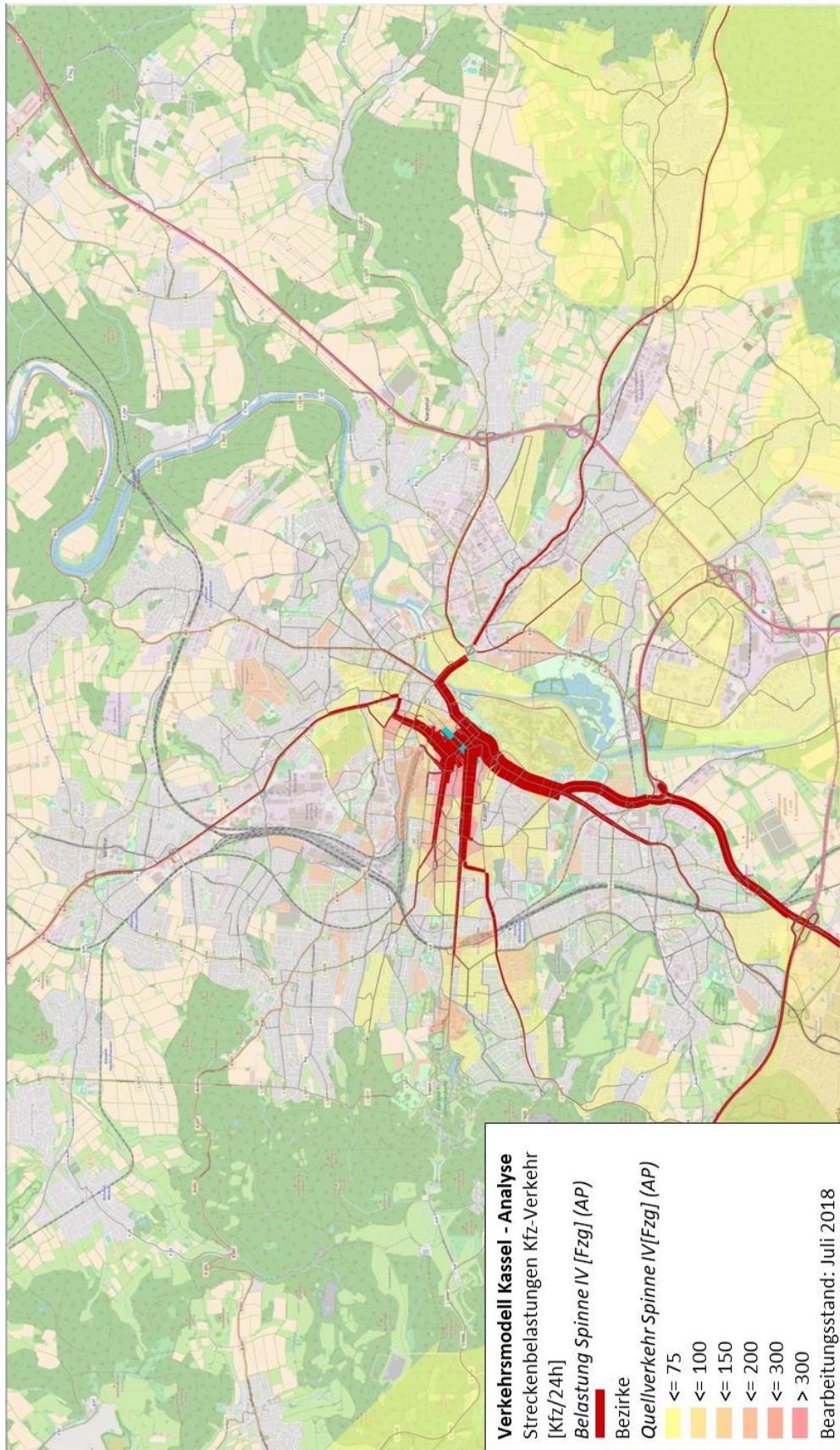


Abbildung 5-6: Verkehrsstromanalyse Fünffensterstraße

5.3.5 Hotspot Holländische Straße

Im Hotspot Holländische Straße zielen die UVM-Maßnahmen sowohl auf eine Verbesserung des Verkehrszustands (Ist-Analyse: ca. 12 % LOS4 und 20 % LOS3) als auch auf eine Reduktion der Verkehrsmenge. Aufgrund der parallel führenden Tramlinien 1, 5, RT1 und RT4 wird hier das Potenzial für eine modale Verlagerung als groß eingeschätzt. Für die modale Verlagerung wird langfristig eine Stärkung dieser Linien empfohlen.

Die Verkehrsstromanalyse (siehe Abbildung 5-7) zeigt den größten Anteil der Kfz-Ströme aus Richtung Vellmar über die B7/B83 (Holländische Straße) kommend. Ein steuernder Eingriff wird daher an der LSA 052 (Holländische Straße/Berliner Straße) empfohlen.

Die Modellrechnung hierfür hat u. a. Verlagerungseffekte in Richtung Obervellmarer Straße-Harleshausen-Wolfhager Straße ausgewiesen. Dies widerspricht den Zielen für den dortigen Hotspot (s. o.), weshalb eine Steuerung des Verkehrszuflusses dieser Ausweichverkehre an den LSA 214 bzw. LSA 213 empfohlen wird.

Tabelle 5-6: Übersicht Hotspot Holländische Straße

Hotspot		Holländische Straße
Besonderheiten, vorh. Bebauung		ebener Streckenverlauf
Problemstellung		Verkehrsmenge zu hoch
Maßnahmen	Verstetigung	Verkehrsfluss ist unauffällig
	Steuerung	Eignungsprüfung an Knotenpunkten: - Kreuzung Holländische Straße / Berliner Straße (K052) - Fußgängerüberweg Obervellmarer Straße (K213) - Kreuzung Obervellmarer Straße / Ziegenberg (K214)
	Information	Information nach Möglichkeit zur Verfügung stellen
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse und Bahn)
Bemerkungen		Die Holländische Straße besser überquerbar zu machen, würde die Qualität für Fußgänger und Radfahrer (Radschnellweg) steigern und gleichzeitig die Kapazität der Strecke senken
Technische Ausstattung		K052
Steuergerät		C940V
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		ÖV Bahn (eigener Gleiskörper)
Technische Ausstattung		K213
Steuergerät		C940V
Zentralenanschluss		OCIT-GSM
ÖPNV		Busse
Technische Ausstattung		K214
Steuergerät		C940V
Zentralenanschluss		OCIT-GSM
ÖPNV		Busse

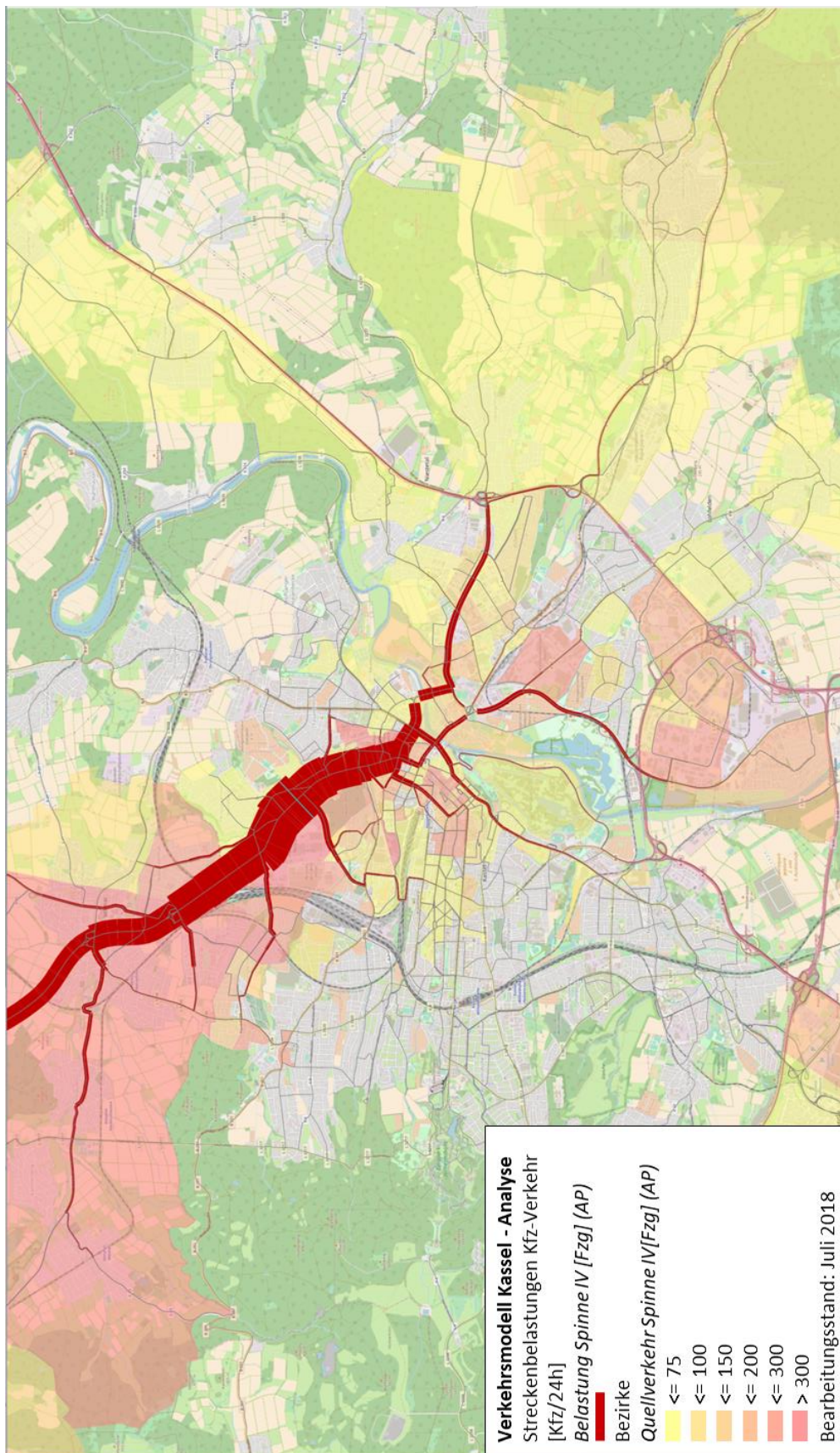


Abbildung 5-7: Verkehrsstromanalyse Holländische Straße

5.3.6 Hotspot Schönfelder Straße

Der Hotspot Schönfelder Straße ist wiederum durch eine spezielle Topographie geprägt. Die Fahrtrichtung Süd führt bergauf und zeigt in der LOS-Analyse deutliche Stop+Go-Anteile. Hierfür ist es erforderlich, einerseits die LSA K314 (Kohlenstraße) und K313 (Heinrich-Heine-Straße) und ggf. im weiteren Verlauf die K929 und K128 in Fahrtrichtung Süd besser zu koordinieren. Ziel hierbei ist es, die Anzahl der Beschleunigungsvorgänge bergauf deutlich zu reduzieren.

An der LSA K314 sollte dafür gesorgt werden, dass die in den Hotspot einfahrenden Kfz-Ströme möglichst selten beschleunigen. Für die Links- und Rechtsabbieger aus Richtung Tischbein- bzw. Kohlenstraße ist dies aufgrund des Abbiegemanövers nicht zu verhindern. Jedoch sollte der Geradeausstrom aus Richtung Wilhelmshöher Allee kommend an der LSA K314 nicht zum Stehen kommen, um ohne Beschleunigung den Hotspot passieren zu können.

In Abbildung 5-8 sind die durch den Hotspot fließenden Kfz-Ströme dargestellt. Dies legt eine gemeinsame Betrachtung der Steuerung des Verkehrszuflusses mit dem Hotspot Frankfurter Straße nahe.

Tabelle 5-7: Übersicht Hotspot Schönfelder Straße

Hotspot		Schönfelder Straße
Besonderheiten, vorh. Bebauung		ansteigender Streckenverlauf, enge und hohe Bebauung
Problemstellung		zweispuriger Zufluss, der sich nach dem Knotenpunkt auf nur einen Fahrstreifen verengt
Maßnahmen	Verstetigung	Überprüfung der Koordinierung auf dem Streckenzug - Wilhelmshöher Allee / Querallee / Schönfelder Straße (K067) - Schönfelder Straße / Tischbeinstraße / Kohlenstraße (K314) - Schönfelder Str./Sternenbergstr./Heinrich-Heine-Str. (K313)
	Steuerung	im direkten Umfeld nicht möglich
	Information	Information prüfen
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse, an K067 auch Bahn)
Technische Ausstattung		K067
Steuergerät		Bald C920 ES
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse und Bahnen
Technische Ausstattung		K314
Steuergerät		C940 ES
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse
Technische Ausstattung		K313
Steuergerät		C940 ES
Zentralenanschluss		OCIT-Kabel
ÖPNV		Busse

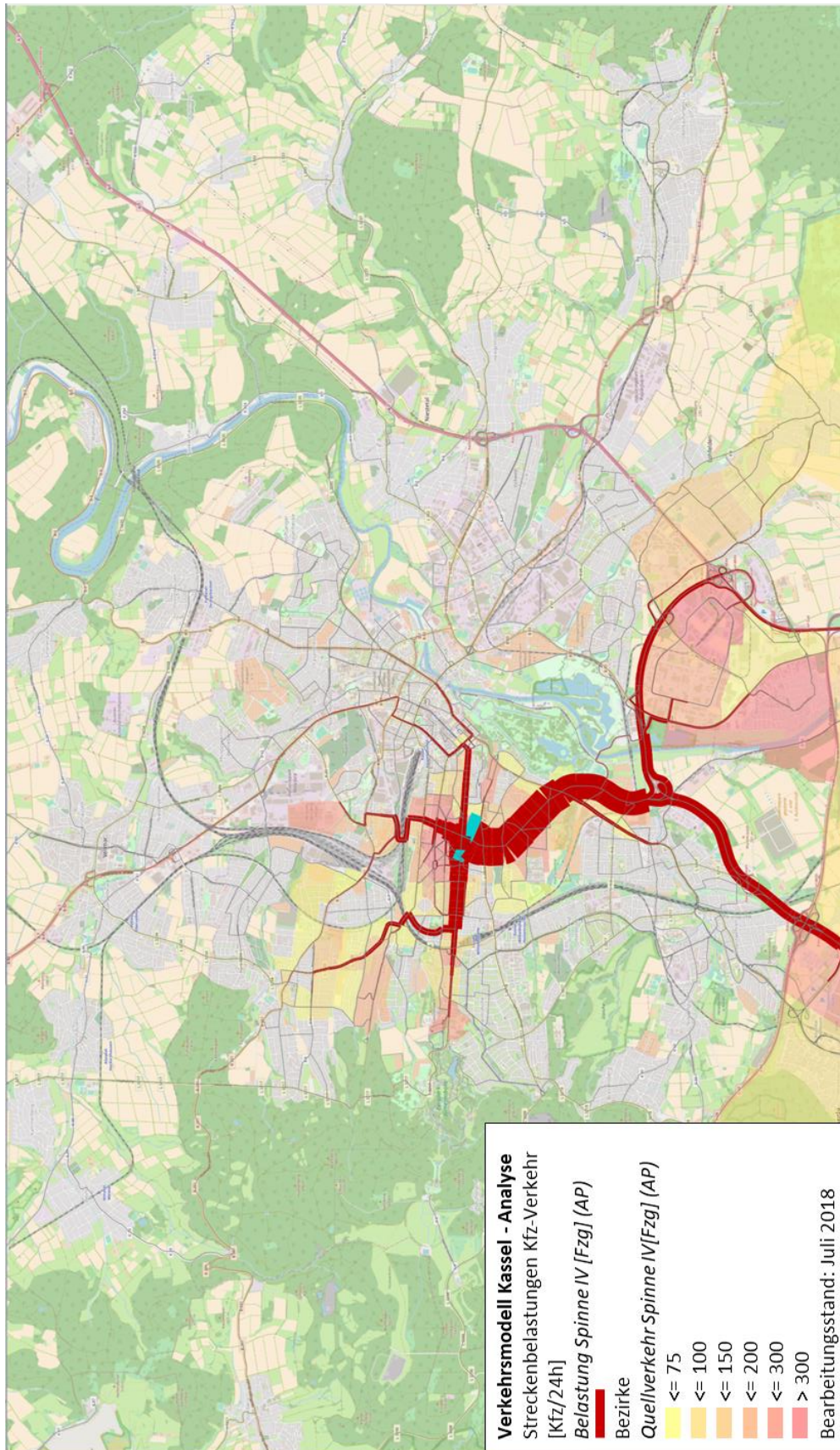


Abbildung 5-8: Verkehrsstromanalyse Schönfelder Straße

5.3.7 Hotspot Wolfhagener Straße

Der Verkehrszustand in diesem Straßenabschnitt kann mit 2,9 % LOS4 und 14,6 % LOS3 am DTV nicht als hauptsächlich ursächlich für die Grenzwertüberschreitung angesehen werden. Vielmehr muss die Kfz-Verkehrsstärke reduziert werden, um einen deutlichen Minderungsbeitrag zu erzielen.

Die durch den betroffenen Abschnitt fließenden Kfz-Ströme stammen z. T. aus der Region, jedoch zu einem sehr großen Teil auch aus dem Bereich Kirchditmold (siehe Abbildung 5-9).

Für die Steuerung der Verkehrsstärke wäre grundsätzlich der Knotenpunkt Wolfhager Straße(B251)/Rasentallee(L3217) geeignet. Die dort vorhandene LSA wird jedoch nicht von der Stadt Kassel, sondern von HessenMobil betrieben, sodass eine Berücksichtigung für UVM-Maßnahmen der Stadt Kassel ausgeschlossen ist.

Daher kommen zur Steuerung des Verkehrszuflusses die LSA K406 und K415 in Betracht. Zu steuern sind jeweils die Ströme in Richtung Osten bzw. an der LSA K406 auch in Richtung Süden (Harleshäuser Straße).

Für die modale Verlagerung ist langfristig eine Stärkung der Tram 8 anzustreben.

Die ursprünglich vorgesehene LSA 214 Am Ziegenberg bekommt im Zusammenhang mit den Maßnahmen für den Hotspot Holländische Straße eine Bedeutung, jedoch nicht für die hier betrachteten Ströme (siehe Abbildung 5-9).

Im Vorfeld der zuflusststeuernden LSA wird die Installation einer dynamischen Informationstafel empfohlen, die sowohl auf aktuell geschaltete UVM-Programme als auch auf zu erwartende Schaltungen am Folgetag aufmerksam machen soll.

Tabelle 5-8: Übersicht Hotspot Wolfhagener Straße

Hotspot	Wolfhagener Straße	
Besonderheiten, vorh. Bebauung	innerstädtisch, Häuserschlucht, hohe Mauer vorhanden	
Problemstellung		Entlüftung ist schwierig, Verkehrsmenge ist zu hoch
Maßnahmen	Verstetigung	Verkehrsfluss unauffällig
	Steuerung	Eignungsprüfung an den Knotenpunkten: - Kreuzung Helmarshäuser Str. / Am Ziegenberg (LSA 214) - Kreuzung Bundesstraße 251 / Obervellmarer Str. (LSA 405)
	Information	Im Bereich "Am Ziegenberg" Informationen bereitstellen
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse)
Bemerkungen		-
Technische Ausstattung	LSA K405	
Steuergerät	C900 Gerät	
Zentralenanschluss	OCIT- Kabel	
ÖPNV	Busse	
Technische Ausstattung	LSA K214	
Steuergerät	C900 Gerät	
Zentralenanschluss	OCIT-GSM	
ÖPNV	Busse	

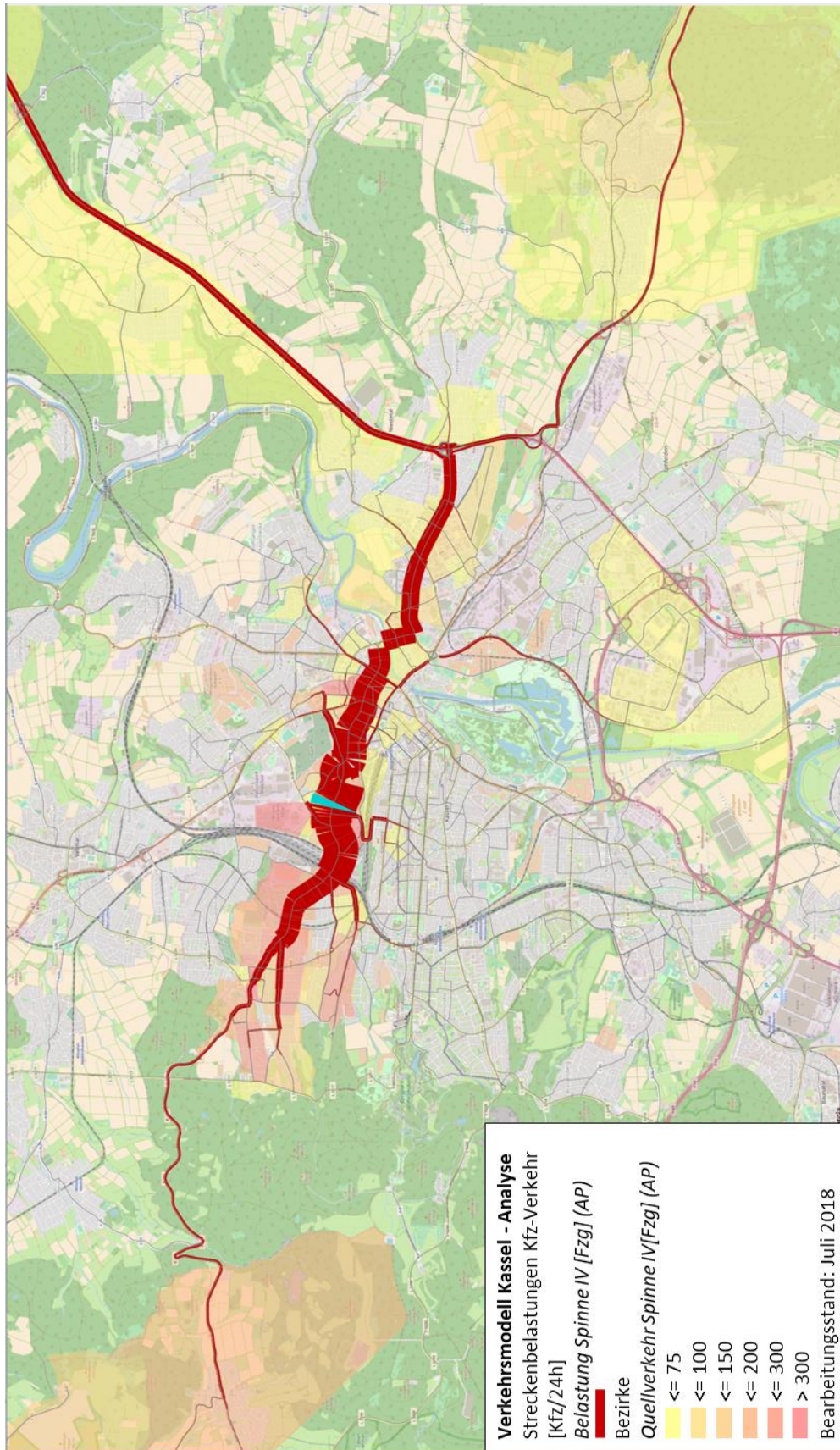


Abbildung 5-9: Verkehrsstromanalyse Wolfhagener Straße

5.3.8 Hotspot Ysenburgstraße

Im Hotspot Ysenburgstraße zeigen die LOS-Analysen für das Jahr 2017 einen sehr hohe Anteile in den HBEFA-Verkehrszuständen „Stop+Go“ (58 %) und „gesättigt“ (32 %) auf. Die Hauptmaßnahme sollte somit in einer Verstetigung des Verkehrsflusses bestehen. Hierzu ist zu prüfen, welches Potenzial an den LSA 001, 057 und 074 im Hinblick auf die Reduzierung der Anzahl der Beschleunigungsvorgänge im MIV in den Zeiten mit besonders hohen NO₂-Belastungen besteht.

Die Verkehrsstärke wird durch die für die Hotspots Holländische Straße und Brüderstraße (Altmarkt) beschriebenen Maßnahmen auch hier reduziert und führt damit zu einem NO₂-Minderungspotenzial.

Tabelle 5-9: Übersicht Hotspot Ysenburgstraße

Hotspot		Ysenburgstraße
Besonderheiten, vorh. Bebauung		-
Problemstellung		Hoher Anteil stop+go (58%) und gesättigt (32%)
Maßnahmen	Verstetigung	Eignungsprüfung an den Knotenpunkten: - Kreuzung Weser Str. / Ysenburgstr. (LSA K001) - Kreuzung Ysenburgstr. / Gartenstr. (LSA K057) - Kreuzung Ysenburgstr. / Josephstr. (LSA K074)
	Steuerung	Wirkt in Kombination mit den Maßnahmen an den Hotspots Holländische Straße und Altmarkt
	Information	Keine eigene Information notwendig
Modal-Split		ÖPNV als Alternative vorhanden (Busse und Bahnen)
Bemerkungen		-
Technische Ausstattung		LSA K001
Steuergerät		C920 ES Gerät
Zentralenanschluss		OCIT- DSL
ÖPNV		Busse und Bahnen
Technische Ausstattung		LSA K057
Steuergerät		C940 ES Gerät
Zentralenanschluss		OCIT
ÖPNV		Busse
Technische Ausstattung		LSA K074
Steuergerät		C800 VK Gerät
Zentralenanschluss		OCIT
ÖPNV		Busse

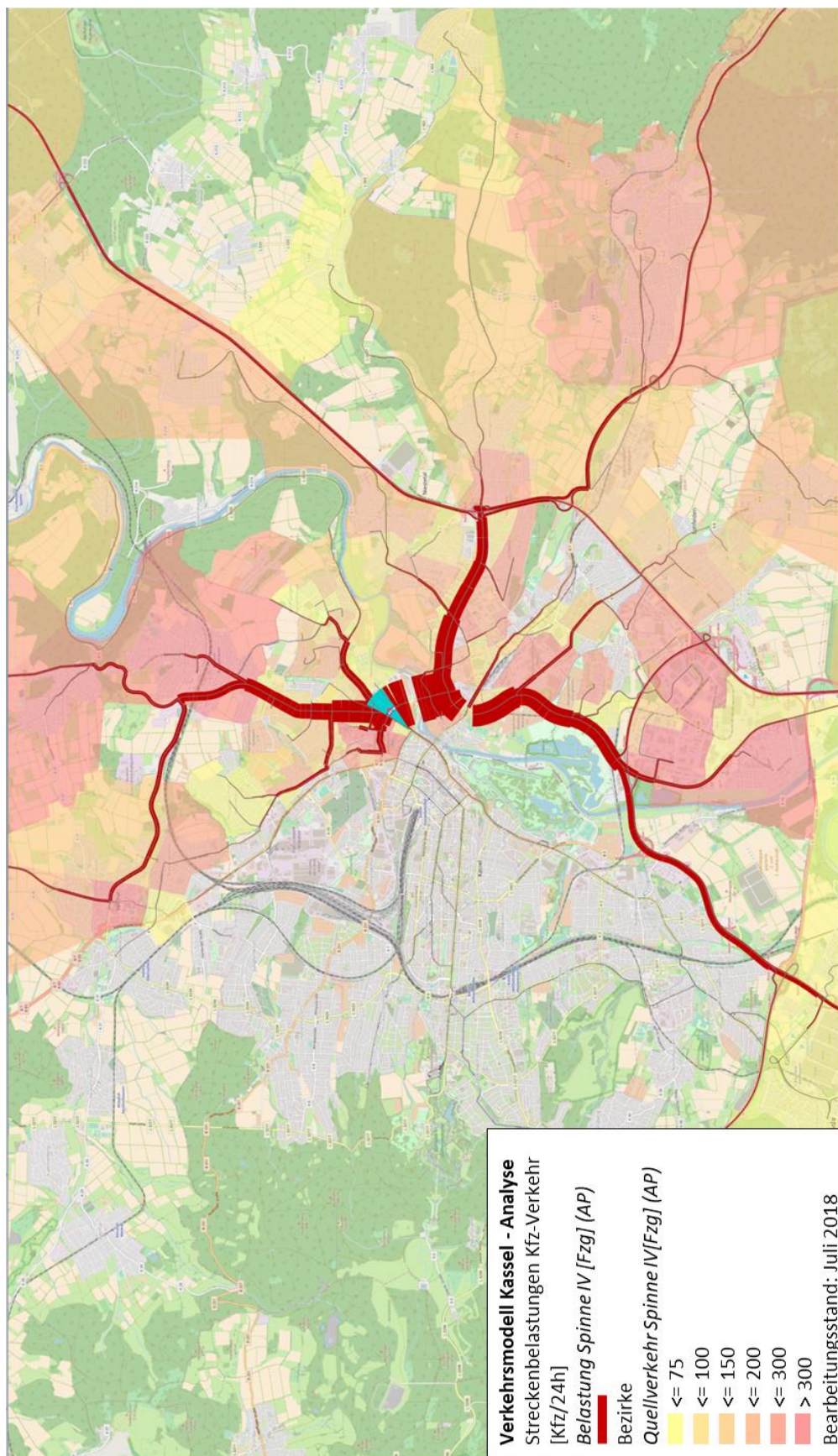


Abbildung 5-10: Übersicht Hotspot Ysenburgstraße

5.4 Vernetzung von Fahrzeugen, Lichtsignalanlagen und Zentralen^{18 19 20}

Die Vernetzung von Fahrzeugen, Lichtsignalanlagen und Zentralen wird zukünftig durch die stetig zunehmende Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen und der technischen Entwicklungen hin zum autonomen Fahren eine immer größere Rolle spielen. Die Stadt Kassel hat sich bereits an verschiedenen Forschungsprojekten zu diesem Thema beteiligt und begonnen, die städtische Infrastruktur entsprechend zu modernisieren.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Car2X-Kommunikation stellt die Erfassung, Übertragung und Bereitstellung verschiedenster Daten möglichst in Echtzeit dar. Um dieses Datenvolumen von Sendern zu Empfängern verschicken zu können, muss die Infrastruktur entsprechend ausgerüstet sein.

5.4.1 Technische Umsetzung

5.4.1.1 Analyse der Ausgangslage

Wie bereits erwähnt (vgl. Kapitel 3.1), wurde das Verkehrsmanagementsystem der Stadt Kassel unter anderem durch die Einbindung in verschiedene Forschungsprojekte bereits umfangreich erweitert. Im Rahmen des Forschungsprojektes UR:BAN wurden bereits ein Testfeld aus 27 LSA im Stadtgebiet eingerichtet, in dem hochdynamischen Schalt-Daten dieser LSA in Echtzeit gesammelt und für eine Prognose der Schaltzeiten aufbereitet wurden.

Ein weiteres Testfeld aus voraussichtlich 15 LSA wird im Rahmen des Forschungsprojektes VERONIKA aufgebaut und die LSA mit entsprechender Kommunikationstechnik (z.B. RSU) ausgestattet. Eine Ausweitung der Technik im Stadtgebiet in Kombination unter anderem mit angepassten LSA-Steuerungen ist angestrebt.

5.4.1.2 Ermittlung der Erfordernisse

In dem „Leitfaden für die Einrichtung kooperativer Systeme auf öffentlicher Seite“ werden in Kapitel 3.1.2 Technische Kernanforderungen drei wesentliche technische Kernanforderungen an das kooperative Verkehrsmanagement dargestellt.

Kernanforderung 1: standardisierte Schnittstellen

Die Schnittstellen müssen für die anfallenden Datenmengen dauerhaft geeignet sein

Kernanforderung 2: Geo-Referenzierung der Daten

Die Georeferenzierung der neu hinzukommenden Daten muss sichergestellt sein

Kernanforderung 3: Datenübertragung mit geringer Latenz

Bei sicherheitsrelevanten oder informierenden Anwendungen ist die Latenz der Informationsübertragung von besonderer Bedeutung. Eine Datenübertragung in Echtzeit ist für die Umsetzung der Car2X-Kommunikation anzustreben

¹⁸ (Stadt Kassel - Forschungsprojekt UR:BAN, 2016)

¹⁹ (Stadt Kassel - Straßenverkehrs- und Tiefbauamt - Forschungsprojekt VERONIKA)

²⁰ (Universität Kassel - IfV-FG Verkehrstechnik und Transportlogistik; Forschung: VERONIKA, 2018)

Da diese Voraussetzungen bereits für das Forschungsprojekt VERONIKA entsprechend erfüllt werden müssen, sind die Grundlagen für den stadtweiten Ausbau bereits gegeben und müssen kontinuierlich angepasst und erweitert werden.

5.4.1.3 Planungen zum technischen Aufbau

Die von der Ausweitung betroffenen bestehenden Hardware- und Softwarekomponenten müssen für die Verwendung geprüft und eventuell angepasst, erweitert oder erneuert werden. Neu hinzukommende Hard- und Software muss in das System integriert werden.

Für die Erweiterung der vorhandenen Infrastruktur muss die Gerätetechnik der LSA an die Erfordernisse angepasst werden. So muss zum einen sichergestellt werden, dass die Kommunikation zur Datenweitergabe funktioniert und zum anderen muss die Software der jeweiligen LSA an die Anforderungen angepasst werden.

Weiter ist es erforderlich, dass Straßenbahnen, Busse und Rettungsfahrzeuge mit Onboard-Units ausgestattet werden, damit diese sich entsprechend im System an- und abmelden können.

5.4.2 Maßnahmenplanung

In der Stadt Kassel wird im Rahmen des aktuell laufenden Forschungsprojektes „Veronika“ ein digitales Testfeld auf zwei Einfallstraßen installiert: Anschlussstelle Auestadion-Frankfurter Straße-Ständeplatz und B83-Anschlussstelle Waldau-Platz der dt. Einheit.

Dieses wird an 15 LSA-Knoten mit Road-Side-Units ausgestattet. Komplementär dazu werden On-Board-Units in 16 Fahrzeugen des ÖV und in Einsatzrettungswagen eingebaut, die die Erprobung der Technik in der Praxis leisten. Das Verkehrsmanagement wird dadurch um die Funktionen der C2X-Kommunikation ergänzt.

Durch den Einsatz der Technik soll die Freigabefenster des ÖPNV genauer angesteuert und damit die Eingriffsdauer deutlich reduziert werden. Für den MIV bedeutet dies, dass sich die Freigabezeiteinschränkungen durch den ÖV auf ein Minimum reduzieren, dies ist vor allem bei ÖV-Eingriffen in Koordinierungen von Bedeutung.

Auf dem Streckenabschnitt AS Auestadion - Frankfurter Str. - Ständeplatz liegen bereits die beiden Hotspots Frankfurter Straße und Fünffensterstraße. Für die geplante Ausrollung des Projektes auf das weitere Stadtgebiet ist eine besondere Betrachtung der Hotspots und des umliegenden Straßennetzes sinnvoll.

Ausgehend von den Analysen zu den Hotspots, die bereits in Kapitel 5.3 ausführlich beschrieben werden, sollen hier die Potentiale einer Ausweitung der Technik (Aufbau RSU, Ausbau LSA, Ausrüstung ÖV mit OnBoardUnits) auf die bekannten Hotspots aufgezeigt werden.

In der folgenden Tabelle sind jeweils die vorhandenen ÖV-Linien²¹ an den einzelnen Hotspots zusammengefasst.

²¹ Stand 19.07.2018

Tabelle 5-10: ÖV-Linien in den einzelnen Hotspots

Linien-Nr.	Tram							Bus									Regio-Tram		
	1	3	4	5	6	7	8	10	12	13	16	17	25	32	37	500	1	4	5
Brüderstraße		x	x		x	x	x	x			x	x		x	x		x	x	
Frankfurter Str.				x	x											x			x
Fünffensterstr.	x	x	x	x	x		x						x			x	x	x	x
Holländische Str.	x			x					x	x							x	x	x
Schönfelder Str.									x	x									
Wolfhagener Str.								x											

Das Wirkungspotential ist unter anderem abhängig von der Anzahl der ÖV-Fahrten pro Stunde auf der einen und der Anzahl der Kfz pro Stunde auf der anderen Seite. Die Anzahl der ÖV-Fahrten ist abhängig von der Anzahl der Linien, die an dem einstreichenden Hotspot verkehren und von der Taktung der einzelnen Linien.

Eine zusätzliche Erweiterung kann im Verkehrsmanagement ein Modul zur Schaltzeitprognose sein, besonders wenn die Verbreitung der Daten zur Schaltzeitprognose möglichst vielen Nutzern zur Verfügung gestellt werden kann.

5.4.3 Regelkreis zur Funktionskontrolle

Bei Maßnahmen im Bereich der C2X-Kommunikation handelt es sich um neue, noch nicht standardmäßig eingesetzte Methoden. Daher ist hier besonders darauf zu achten, Validierungs- und Kontrollmechanismen aufzubauen, um den sicheren und zuverlässigen Betrieb sowie die Wirkungen überprüfen zu können.

Der Aufbau eines Regelkreises, der aus Messungen der Eingangsdaten, Vergleichen der Eingangsdaten mit den Soll-Daten und eventueller Justierung der Stellgrößen sollte aufgestellt und laufend überprüft werden.

5.5 Umweltorientiertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement

Neben einer umweltfreundlichen und leistungsfähigen Steuerung des Verkehrsablaufes mittels intelligenten Verkehrsmanagements ist auch ein intelligentes Mobilitätsmanagement ein Lösungsansatz, den gegenwärtigen Handlungszielen der nachhaltigen Stadt- und Verkehrsentwicklung Rechnung zu tragen.

Konkret sollte eine ganzheitliche Vernetzung verfügbarer Daten, der Mobilitätsoptionen sowie für den ÖPNV eine effiziente und nutzerorientierte Informationsbereitstellung erfolgen, die neutral verschiedenste Mobilitätsoptionen monetär- und zeit-ökonomisch sowie ökologisch gegenüberstellt.

Ein modernes Mobilitätsmanagement sollte dabei folgende Ziele konkret verfolgen:

- Anreizsetzung für eine modale Verlagerung vom MIV auf den Umweltverbund
- Nutzerorientierung
- Informationslieferung aus einer Hand

Insbesondere der letzte Punkt bedingt, dass Echtzeit-Informationen anbieterneutral bereitgestellt werden müssen.

Eine grundlegende Voraussetzung dafür ist die Anbindung aller Daten und Service Provider an eine neutral ausgerichtete Plattform, die offen für unterschiedlichste Service-Anbieter und Mobilitätsangebote ist und eine hohe Akzeptanz sowohl auf Providerseite als auch auf der Nutzerseite erfahren kann.

Nachfolgend wird ein technisches Fachkonzept skizziert, das die Zusammenführung bestehender und neuer Mobilitätsinformationen für die Stadt Kassel in einer Plattform aufzeigt. Abschließend werden potentielle Wege zur Darstellung der multimodalen Mobilitätsinformationen in bestehenden und neuen (Internet-) Portalen, in mobilen Informationsdiensten und vor Ort an wichtigen Schnittstellen der Kasseler Mobilität aufgezeigt.

5.6 Bestandsaufnahme zu Mobilitätsangeboten und potentiell nutzbarer Daten

Das Kapitel erfasst die vorhandenen Mobilitätsangebote sowie Datenlieferanten (z. B. ÖV-Unternehmen, Carsharing, Ladeinfrastruktur) und deren technische Systeme im Raum Kassel, die sich für eine spätere Integration in Mobilitätsinformationssysteme anbieten.

Die Abbildung 5-11 fasst die Angebote von Mobilitäts- und Providerdaten schematisch zusammen. Im Detail werden alle verfügbaren Daten zentral an eine Plattform angebunden, welche die Daten den aufbauenden Informationssystemen gebündelt zur Verfügung stellt

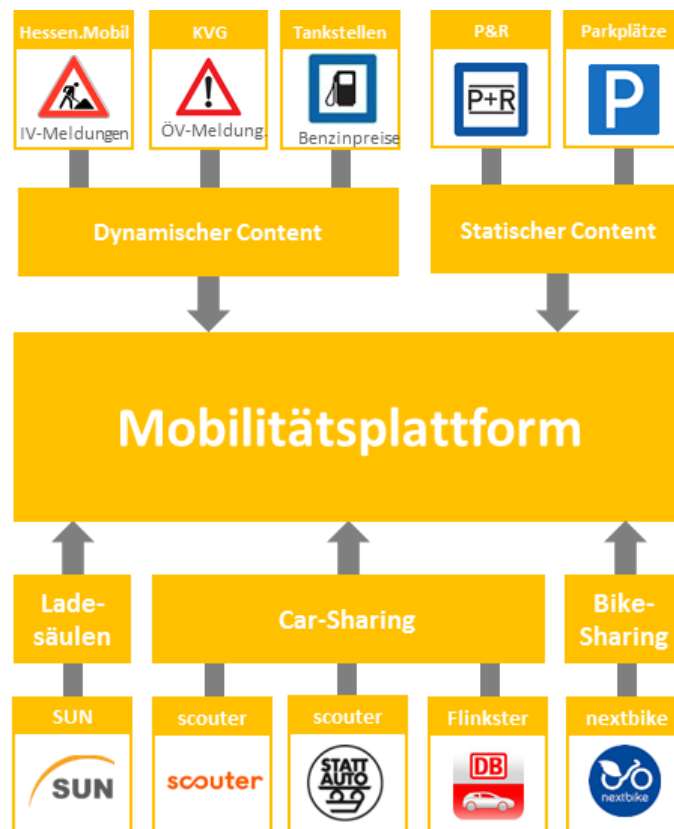


Abbildung 5-11 Übersicht Service Provider und Mobilitätsdaten

Die konkreten Provider mit ihren Daten lassen sich folgendermaßen unterscheiden:

Statischer Content

Für den statischen Content bieten sich die Integration vorhandener P&R-Anlagen sowie der Parkplätze in Kassel an. Statische Informationen zu deren Lokalität sowie etwaige

Detailinformationen zu Kosten und verfügbaren Stellplätzen ergänzen die Informationen. Eine Anbindung kann bspw. über eine statische csv-Datei mit nachfolgenden grundlegenden Inhalten erzielt werden:

- P&R-ID
- Koordinaten
- Name
- Kapazität (gesamt), Kapazität Behindertenstellplätze, Kapazität Frauen- sowie Familienparkplätze
- Preisstruktur
- Weiterhin wäre eine Bereitstellung eines Icons für eine potenzielle Darstellung in der Karte sinnvoll

Dynamischer Content

Meldungen zum Individualverkehr:

Für den dynamischen Content sollten für den Bereich des MIVs aktuelle Meldungen zu:

- Baustellen
- Unfällen
- Sperrungen
- Events, etc.

eingebunden werden. Diese sind aus dem städtischen Baustellenmanagement und überregional beispielsweise über die Quelle Hessen Mobil beziehbar.

Aktuelle Situation ÖV

Für die aktuelle Situation des regionalen ÖVs ist eine Anbindung der lokalen Betreiber- oder Verbundschnittstelle, bspw. der Kasseler Verkehrs-gesellschaft (KVG) notwendig. Die benötigten Informationen umfassen bspw.:

- Ist-Abfahrtszeiten mit Verspätungsmeldungen
- Baustellen
- Zug- / oder Linienausfälle, etc.

Ergänzend werden statische Informationen benötigt:

- Haltestellen-ID, Koordinate und Name der Haltestelle

Darüber hinaus sind relevant:

- Linienverläufe bspw. von Bussen referenziert auf das Straßennetz, (z.B. Shape Format)

Aktuelle Kraftstoffpreise

Dynamische Informationen zu den Preisen von Kraftstoffen umliegender Tankstellen können durch eine Anbindung einer proprietären Schnittstelle zu Dienstleistern der Markttransparenzstelle für Kraftstoffe (MTS-K) vervollständigt werden.

Ladesäulen

Informationen zur Lokalität und aktuellen Verfügbarkeit von vorhandener und zukünftiger Ladeinfrastruktur ließen sich bspw. über die Stadtwerke Union Nordhessen (SUN) beziehen. SUN betreibt 14 Ladesäulen in Kassel - siehe nachfolgende Tabelle:

Tabelle 5-11: Übersicht der Ladesäulen im Stadtgebiet von Kassel

Übersicht Ladesäulen Stadtgebiet Kassel			
	<u>Stationsbetreiber</u>		<u>Ladestation</u>
1	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Königstor
2	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Entenanger
3	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Wilhelmshöher Allee
4	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	ICE Bhf
5	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Stadthalle
6	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Holländischer Platz
7	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Karlsplatz
8	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Hotel Gude
9	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Schlosshotel
10	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Willy-Brand-Platz
11	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Karlsplatz Carsharing
12	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Hotel Schweizer Hof
13	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Schnelllader Friedrichsplatz
14	SUN	StadtwerkeUnion Nordhessen	Schnelllader Friedrichsplatz

Eine Schnittstelle zu den E-Bike- sowie E-Autoladestationen würde die Sichtbarkeit dieser mobilitätsnahen Dienstleistung erhöhen. Falls eine Schnittstelle existiert, sollte diese nachfolgende Datenfelder befüllen:

- Ladesäulen-ID
- Name
- Anbieter
- Adresse
- Anzahl Ladepunkte gesamt
- Anzahl freie Ladepunkte
- Art der Stecker (z.B. Typ 2 Outlet)
- Ladestrom (z.B. 16 A)
- Ggf. Parkplatzbelegung

Carsharing

Das Carsharing stellt innerhalb der Stadt Kassel ein wichtiges alternatives Mobilitätsangebot dar. Gegenwärtig agieren zwei verschiedene Provider in der Stadt. Alle Provider eint, dass es sich im Allgemeinen um stationsgebundenes Carsharing handelt. Sprich die Fahrzeuge sind nicht frei verfügbar im Stadtgebiet ausleihbar und wieder abstellbar, sondern die Fahrzeuge müssen an Stationen ausgeliehen und wieder abgegeben werden. Jedoch verfügen die Anbieter nur auf privaten Flächen über feste Stellplätze. Für den öffentlichen Raum geben die beiden Anbieter zwar einen Stationsstandort an. Das Auto muss dann aber dort gesucht werden, da feste Stellplätze, wie bei Taxen, bisher noch nicht reserviert werden können. Im Detail sind nachfolgende Daten interessant und sollten über verfügbaren Provider-Schnittstellen integriert werden:

- Standort der Station
- Hersteller
- Modell
- Antrieb
- Getriebe
- Sitzplätze
- Füllstand (Tank/Batterie)
- Kennzeichen
- Name
- Sauberkeit (außen)
- Sauberkeit (innen)

Scouter

Um diese Daten zu integrieren, ist die Integration der Betreiberschnittstelle notwendig. Die 15 Stationen im Stadtgebiet stellen mit ihren aktuellen Verfügbarkeiten wichtige Information für die aufbauenden Mobilitätsdienste dar. Gegenwärtig sind die Scouter Stationen auf dem zugehörigen Internetauftritt des Providers einsehbar - siehe nachfolgende Abbildung.

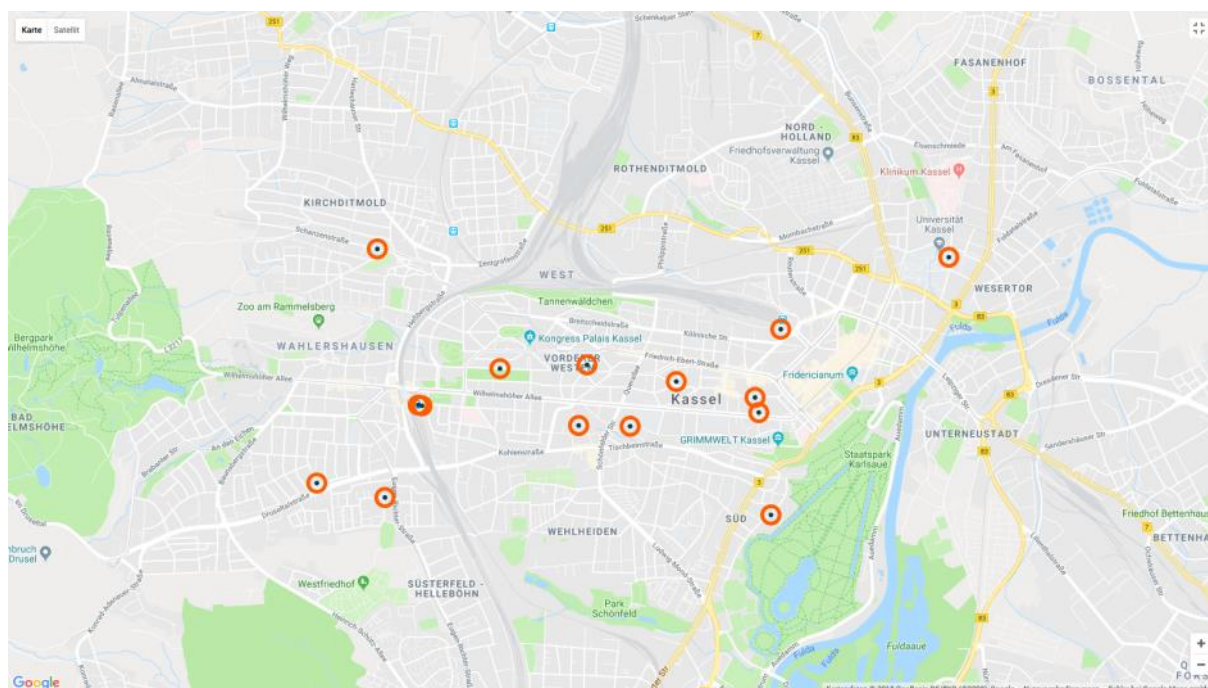


Abbildung 5-12 Scouter Stationen in Kassel (Quelle <https://scouter.de/stationen/?city=34100>)

Scouter ist Partner im Deutsche Bahn Flinkster Netzwerk. Nutzerinnen und Nutzern stehen damit auch die verfügbaren Fahrzeuge von Flinkster und anderen beteiligten Carsharingunternehmen zur Verfügung.

Stattauto

Als zweiter Anbieter in der Stadt Kassel ist *Stattauto* vor Ort vertreten. Stattauto existiert bereits seit August 1991 und ist mit über 60 Fahrzeugen der größte Anbieter der Region (vgl. Webseite Stattauto). Eine Anbindung dieses Providers über eine mögliche Datenlieferung bietet sich somit ebenfalls an, da dieser Anbieter über das bestausgebaute Netz von Stationen im Stadtgebiet verfügt.

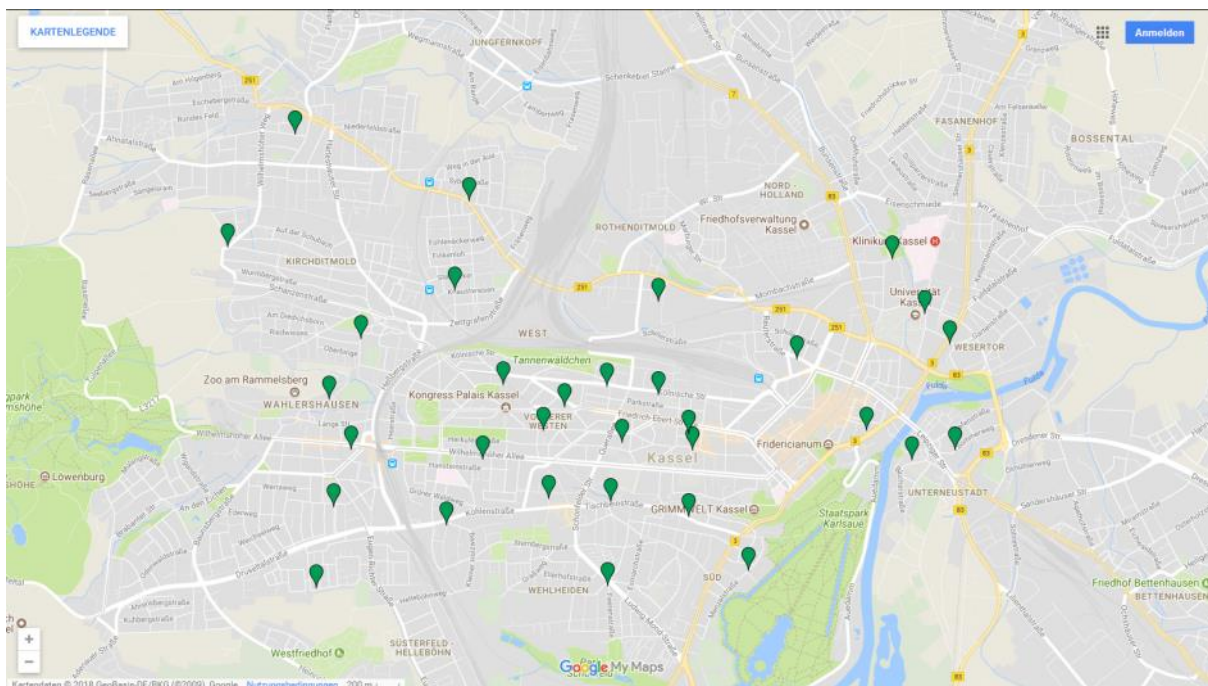


Abbildung 5-13 Stattauto Stationen in Kassel (Quelle <http://stattauto.net/>)

Bikesharing

Abgerundet werden die vor Ort befindlichen flexiblen Mobilitätsangebote durch einen Bikesharing Provider. *Nextbike* stellt in Kassel an 56 Stationen mehr als 400 Leihräder bereit und ist das Nachfolgeprodukt des Konrad Radverleihsystems, dass bis Ende 2017 durch die DB Tochter Callabike betrieben wurde.

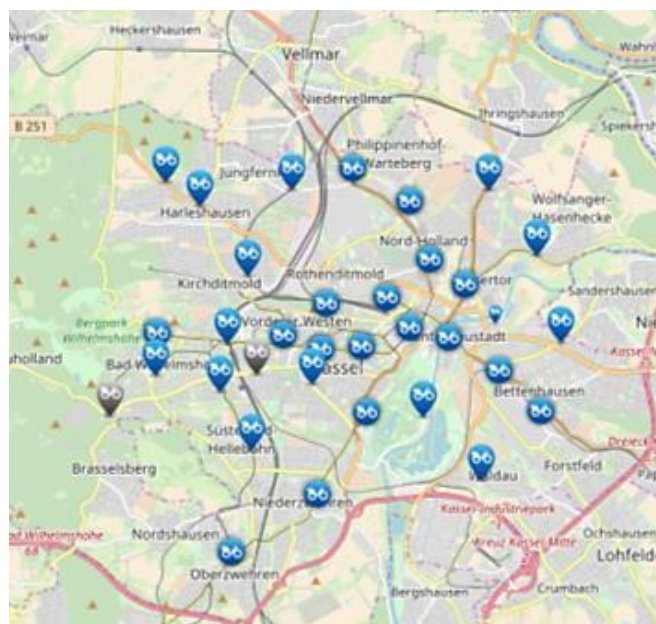


Abbildung 5-14 Nextbike Bikesharing in Kassel (<https://www.nextbike.de/de/kassel/>)

Nextbike bietet über eine proprietäre Schnittstelle für externe Datennutzer nachfolgende Informationen an, die sich wiederum in innovativen Mobilitätsinformationsdiensten integrieren ließen.

- Standort der Station
- Anzahl verfügbarer Räder

5.7 Mobilitätsplattform

Das Fachkonzept schlägt vor, die Mobilitätsinformationen an eine zentrale Plattform anzubinden, die keinen einzelnen Anbieterinteressen folgt, sondern neutral alle verfügbaren Daten der Stadt Kassel bündelt. Die anbieterübergreifende Integration der Mobilitätsoptionen sollte hierbei also den verkehrspolitischen Zielen und weniger den Anbieterinteressen Rechnung tragen.

Voraussetzung für eine Anbindung an eine Mobilitätsplattform ist das Schließen von Datenüberlassungsverträgen mit den Providern. Im Detail gilt, dass eine Überlassung der Daten für den Anwendungsfall Kassel im Rahmen individuell abgestimmter Datenüberlassungsvereinbarungen geregelt werden muss. Folglich ist neben der technischen Integration der Schnittstellen der rechtliche Rahmen zwischen den beteiligten Parteien vorab zu definieren.

Ergänzend sei erwähnt, dass die Plattform flexibel und skalierbar gestaltet werden muss, um zukünftigen Providern die Integration in nachfolgend beschriebene Informationsdienste zu ermöglichen. Hierzu sollten offene Schnittstellen in modernen Standards wie bspw. JSON/REST implementiert sein, die sowohl die Anbindung weiterer Service Provider, als auch die Zulieferung der Echtzeitdaten an die nachfolgenden Dienste erlauben.

Auswahl regionaler Initiativen und Projekte:

Mobilitätshub:

Innerhalb des nationalen Forschungsprojektes (Laufzeit 2017 - 2018) wird dem Kunden bei Nutzung seiner gewohnten regionalen App die Nutzung des gesamten Verkehrsangebots in Mitteldeutschland erlaubt. Innerhalb des Projektes wird dem Kunden ein Zugangsmedium realisiert, um ein Ticket für die gesamte Reisekette im Projektraum zu kaufen und Car- und Bikesharing-Angebote nutzen zu können, ohne sich in anderen Systemen anmelden zu müssen. Für die Bestimmung der Reisekette sollen dabei möglichst viele der öffentlich zugänglichen Mobilitätsangebote einbezogen werden und neben verbundübergreifenden ÖV-Tickets insbesondere auch Leihanbieter von Fahrrädern und Autos mit berücksichtigt werden.

Link zum Projekt: <https://www.nasa.de/mobilitaetshub/>

ReKoMo - Regionale Kooperations- und Mobilitätsplattform

Im nationalen Forschungsprojekt ReKoMo (Laufzeit 01/2017 bis 09/2018) wird eine anbieterneutrale, interoperable und regionale Kooperations- und Mobilitätsplattform errichtet. Hierbei wird der Fokus auf eine mandantenfähige Plattform gelegt, die es erlaubt, die lokalen Mobilitätsanbieter zu integrieren.

Link zum Projekt: <https://www.rekomo-plattform.de/>

VMZ Berlin Mobilitätsplattform

Die VMZ betreibt eine Mobilitätsplattform für die Region Berlin-Brandenburg, die das neutrale Backendsystem für verschiedene aufbauende Dienste unterschiedlicher Anbieter darstellt. Im Detail sind an diese Plattform alle relevanten Mobilitätsangebote wie Carsharing, Bikesharing und e-Scooter-Sharing angebunden. Mobilitätsnahe Dienstleistungen wie Ladeinfrastruktur sowie alle relevanten Echtzeitdaten zum Verkehr im IV- und ÖPNV-Bereich wurden ebenfalls an diese Plattform angebunden.

Die vorliegenden Daten werden über die relevanten lokalen Auskunftssysteme an die Kunden gegeben:

- Städtische Verkehrsinformationszentrale Berlin: <https://viz.berlin.de>
- Das offizielle Hauptstadtportal: <https://www.berlin.de/tourismus/infos/verkehr/verkehrslagekarte/>
- Der regionale Verkehrsverbund (VBB): http://fahrinfo.vbb.de/bin/help.exe/dn?L=vs_mobilitymap&tpl=fullmap&tabApp=show

Mobilitäts Daten Marktplatz

Die städtische Mobilitätsplattform sollte die Weitergabe aller angeschlossenen Verkehrs- und Mobilitätsinformationen an den bundesweiten Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM) der Bundesanstalt für Straßenwesen unterstützen. Kassel veröffentlicht bereits heute aktuelle Baustelleninformationen sowie freie Parkplätze über den MDM und stellt darüber externen Nutzern die Daten bereit. Diese Daten könnten durch die neu hinzukommenden Informationen (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) vervollständigt werden.

Eine einmalige Anbindung der Daten an die städtische Plattform sowie die darauf aufbauende, zentrale Weitergabe der Informationen an den MDM sollte somit berücksichtigt werden. Der Vorteil der städtischen Plattform besteht darin, dass der MDM gebündelt über einen einzigen Weg mit den stadtweiten Informationen Kassels versorgt werden kann. Über diesen Weg kann Kassel zukünftigen Diensten und aufbauenden Applikationen von Dritten ermöglichen, an stadtweite Informationen aus dem Bereich des Verkehrs- und Mobilitätsmanagements zu gelangen. Welche unterschiedlichen Mobilitätsinformationsdienste und inkl. welcher Funktionen vorstellbar wären, klärt das nachfolgende Kapitel.

5.8 Mobilitätsinformationsdienste

Die über das Backendsystem einer Mobilitätsplattform angebotenen Daten können über unterschiedliche Mobilitätsinformationsdienste ausgespielt (bspw. zur Darstellung der Verfügbarkeiten von Sharing-Angeboten, oder der Echtzeitabfahrtszeiten des Nahverkehrs, etc.). Darüber hinaus gehend können auch intermodale Routingfunktionalitäten ergänzt werden, um eine bestmögliche Informationsbereitstellung für die Endnutzer(innen) zu ermöglichen. Nachfolgend werden potenzielle Anwendungsfälle im Detail beschrieben

Städtische Mobilitäts-App

Alle Inhalte lassen sich in eine eigenständige Mobilitäts-App integrieren, um den Verkehrsteilnehmern intermodale und betreiberunabhängige Verkehrsinformationen zur Verfügung zu stellen. Diese App richtet sich explizit an alle Verkehrsteilnehmer. Durch eine hohe Sichtbarkeit alternativer Mobilitätsangebote und eine gleichberechtigte Darstellung aller Mobilitätsalternativen in Bezug auf Kosten, CO₂ und Dauer kann eine mittelfristige Verhaltensänderung hin zur Nutzung der Angebote des Umweltverbundes unterstützt werden.

Die durch eine Mobilitäts-App angebotenen Informationen und Dienstleistungen müssen zuverlässig, aktuell, einfach zu bedienen und umfassend sein. Mehrmaliges Anmelden oder die mehrmalige Eingabe von Benutzerkennungen oder Routenanfragen, komplizierte Buchungs- und Reservierungsvorgänge oder das aufwändige manuelle Zusammentragen von multimodalen Wegeketten aus unterschiedlichen Applikationen müssen vermieden werden.

Die Mobilitäts-App sollte die Möglichkeit bieten, sich direkt und in Echtzeit über alle Mobilitätsoptionen zu informieren und sich zwischen verschiedenen Routenoptionen zu entscheiden. Die Ontrip-Verfügbarkeit der Endgeräte und Dienste ermöglicht eine standortbezogene und personalisierte Information der Nutzer.

Eine mobile Anwendung sollte demnach umfassende Informationen über die aktuelle Straßenverkehrslage, Verkehrsstörungen, den ÖPNV, Fahrradverkehr, Sharing-Angebote oder freie Ladesäulen für Elektrofahrzeuge bieten.

Um die schnellsten, günstigsten oder umweltfreundlichsten Verbindungen zu erhalten, müssen verschiedene Verkehrsmittel und -angebote bei der Routenberechnung berücksichtigt und bestenfalls miteinander kombiniert werden. Die Routenvorschläge sollten hierbei unter objektiven Kriterien wie Dauer, Kosten oder CO₂-Emissionen der Fahrt unabhängig von bestimmten Anbietern gezeigt werden.

Je nach Anforderung sollten verfügbare lokale Mobilitäts- oder Infrastrukturdaten sowie Buchungs- und Ticketing-Funktionen über Schnittstellen in die Systeme eingebunden werden.

Über diese Informationsdienstleistung hinaus können weitere Funktionen in die Mobilitäts-App integriert werden, aus denen weitere Vorteile für die öffentliche Hand gewonnen werden können:

- Durch die Verbreitung von Smartphones ergibt sich nicht nur die Möglichkeit, Verkehrsdaten zielgerichtet und schnell zu verbreiten; auch in der Übermittlung von Verkehrsdaten in umgekehrter Richtung, vom Smartphone-Nutzer zu Verkehrsinformationszentralen, liegen Potenziale für eine Verbesserung der Verkehrsinformation und darüber hinausgehend für eine effizientere Steuerung des Verkehrs.
- Unterschiedliche Nutzergruppen (z. B. Radfahrer oder körperlich eingeschränkte Personen) können durch Crowdsourcing stärker einbezogen werden und auf für sie wichtige Verkehrsbedingungen hingewiesen werden. Ebenfalls können Aktionen zur stärkeren Bürgerbeteiligung durch die Mobilitäts-Apps nach entsprechender Anpassung unterstützt werden. Durch die Eingabemöglichkeit von Unfallschwerpunkten können sich die Nutzer direkt und mobil an E-Partizipationsaktivitäten beteiligen. Damit wäre z. B. eine Umsetzung der im Rahmenbericht vorgeschlagenen Online-Plattform zur Meldung von Gefahr- und Problemstellen im Rad- und Fußverkehr möglich.
- Mobilitäts-Apps bieten die Möglichkeit, im Störfall standortbezogen und nutzergruppenspezifisch Informationen bereitzustellen. So können zum Beispiel im Fall einer Störung der Straßenbahn ggf. alternative Routenvorschläge direkt an die App-Nutzer übermittelt werden.
- Für Veranstaltungen können nutzergruppenspezifische Verkehrsinformationen übermittelt werden. In Kooperation mit der städtischen Verwaltung und den Veranstaltern können bei größeren Kultur- und Sportevents Besucher und Anlieger zielgerichtet über An- und Abfahrtsmöglichkeiten informiert werden.

Als Referenzen können beispielhaft mobile Applikationen der VMZ Berlin dienen. Diese bieten umfassende Informationen über die aktuelle Straßenverkehrslage, Verkehrsstörungen, den ÖPNV, Fahrradverkehr, Carsharing-Angebote oder freie Ladesäulen für Elektrofahrzeuge. Um die schnellsten, günstigsten oder umweltfreundlichsten Verbindungen zu erhalten, werden im intermodalen Routenplaner der VMZ verschiedene Verkehrsmittel und -angebote bei der Routenberechnung berücksichtigt und miteinander kombiniert. Die Routenvorschläge erfolgen dabei unter objektiven Kriterien wie Dauer, Kosten oder CO₂-Emissionen der Fahrt unabhängig von bestimmten Anbietern. Je nach Anforderung können lokale Mobilitäts- oder Infrastrukturdaten sowie Buchungs- und Ticketing-Funktionen über Schnittstellen in die Routing-Systeme eingebunden werden. Die Mobilitäts-Apps werden sowohl von Android- als auch von iOS-Systemen unterstützt -

Referenzen sind die BerlinMobil-App (www.BerlinMobil-App.de) oder die im Rahmen des europaweiten Tür-zu-Tür Projektes DORA entstandene DORA-App (www.DORA-project.eu).

Ticketing, Buchen und Reservieren

Neben der reinen Berechnung verschiedener Routen von A nach B für unterschiedliche Verkehrsmittel stellt eine integrierte Ticketing Funktionalität eine zentrale Funktion dar. Mobilitätsanbieter, die an die Mobilitätsplattform angeschlossen sind, können so Prozesse mit Abrechnungsbezug nahtlos in eigene Anwendungen integrieren, ohne dass die Nutzer die Applikation verlassen müssen.

Ziel sollte es sein, dass eine Mobilitäts-App unterschiedliche Authentifizierungsverfahren unterstützt, damit sich der Kunde sicher mit seinem Account bei dem jeweiligen Dienst anmelden und die personalisierten Aktionen durchführen kann.



In der nebenstehenden Abbildung ist ein Beispiel dargestellt, wie ein Handy-Ticket des VBB in die DORA App - eine Anwendung zur nahtlosen Tür-zu-Tür Routing unter Einbeziehung von Flughäfen und Airlines - integriert worden ist. Das Ticket wird über eine Schnittstelle von HandyTicket Deutschland bezogen und in der App inklusive unterschiedlicher Sicherheitsmerkmale - zum Beispiel dem Counter unten rechts - visualisiert.

Abbildung 5-15 Ticketing

Reiseüberwachung

Ein Modul Reiseüberwachung informiert den Verkehrsteilnehmer vor und während seiner Reise proaktiv über Störungen und Verspätungen. Folgende Anforderungen werden abgedeckt:

- Hinweise auf den zeitgerechten Aufbruch vom Startort, um das Ziel gemäß ausgewähltem Reisevorschlag rechtzeitig zu erreichen.
- Verkehrsmittelübergreifende Reisebegleitung, welche sich für die Ausgabe von routenbezogenen Hinweisen auf die Reiseüberwachung der Anwendung stützt.
- Aktive Reiseüberwachung während der Reise. Im Falle von Verspätungen, Störungen im Reisekettenverlauf, Nicht-Mehr-Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln oder, wenn der Nutzer vom Reisevorschlag abweicht, können neue Routenempfehlungen berechnet werden.

Die Reiseüberwachung kann sowohl für Einzelreisen als auch für wiederkehrende Routen - zum Beispiel dem täglichen Weg zur Arbeit - erfolgen. Siehe beispielhaft nachfolgende Screens.

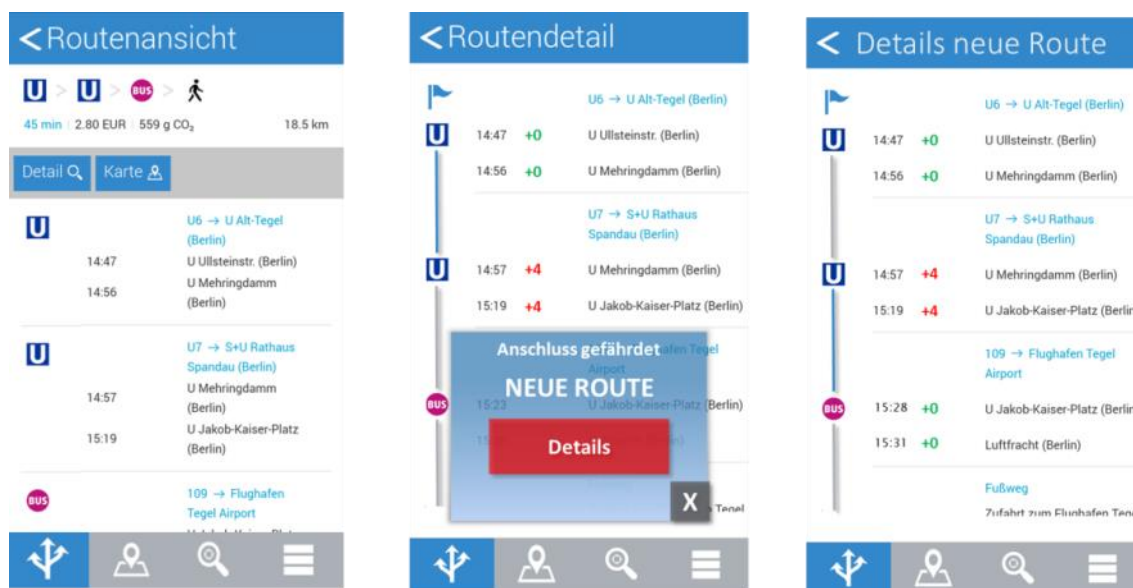


Abbildung 5-16 Reiseüberwachung

Grüne Welle für Radfahrer

Bisher sind „Grüne Wellen“ ausschließlich an den Geschwindigkeiten des Autoverkehrs ausgerichtet. Der in Kassel eingesetzte Ampelphasenassistent der Firma GEVAS ermöglicht es Fahrradfahrern, in den Genuss einer Grünen Welle zu kommen (sofern die physikalischen Rahmenbedingungen dies zulassen)- sei es auf Fahrradautobahnen, Radschnellwegen, Straßen oder Fahrradwegen.

Nähert sich ein/e Fahrradfahrer(in) mit der Ampelphasen-App z.B. als einem Baustein einer städtischen Mobilitäts-App - einer Kreuzung, schaltet die Ampel automatisch auf Grün oder verlängert die bestehende Grünphase. Das System nutzt die Vorteile der Satellitennavigationstechnologie. Das Smartphone bestimmt die Position mittels GPS und prüft, ob ein virtueller Auslösepunkt mit der passenden Geschwindigkeit passiert wurde. In diesem Fall meldet die App die Aktivierung des Auslösepunktes an die Verkehrszentrale. Anschließend gibt die Verkehrszentrale einen Befehl an die LStZ und diese dann an die Ampelsteuerung und sorgt dafür, dass Radfahrer/innen grünes Licht erhalten.

Bei Planungen zu einem solchen System müssen natürlich -wie immer in der Verkehrssteuerung- die Auswirkungen auf die anderen Verkehrsteilnehmer (ÖPNV, MIV) betrachtet und gegeneinander abgewogen werden.

Incentivierung/ Gamification

Gamification lässt sich als Anreizmittel einsetzen, um die Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel zu fördern. Im Rahmen von Kampagnen lässt sich durch Marketing wirksam auf eine zu verstärkende Nutzung bspw. des Radverkehrs hinweisen. Ein dazu notwendiges technisches System zur Begleitung kann als ein weiterer Baustein einer städtischen Mobilitäts-App betrachtet werden.

Als Referenz ist das EU-Forschungsprojekt Streetlife zu nennen, dass zwischen 2013 und 2016 durchgeführt wurde. Pilotiert in Berlin erfuhren sich Radfahrer/innen mit einem Smartphone virtuelle Bäume, die später gegen echte Bäume getauscht werden konnten.

Mit dem Spiel sammelten die Spieler für jeden gefahrenen Fahrradkilometer zehn Blätter. Haben sie 500 Blätter oder 50 Radkilometer beisammen, konnten sie auf dem virtuellen Stadtplan Berlins einen Baum pflanzen. Gespielt wurde in drei Runden á einem Monat. Für jeden Monat wurden jeweils die Teilnehmer mit den meisten Fahrradkilometern ermittelt. Die Teilnehmer auf den ersten beiden Plätzen gewannen einen echten Baum, der von Siemens gesponsert und von der Berliner Stadtbauminitiative gepflanzt wurde.

Der Wettbewerb war Teil eines Projekts, mit dem Forscher von Siemens Corporate Technology und VMZ Berlin umweltfreundliche Verkehrsmittel fördern wollten. Weitere Infos: <http://www.streetlife-project.eu>

Mobilitätsinformationen im Internet

Mobilitätsdienste wie Informationen über aktuelle Verfügbarkeiten der Sharingprodukte oder auch Routingservices sowie Verkehrsmeldungen können bspw. im Corporate Design der Stadt oder auch der Stadtwerke in bestehende Mobilitätsportale integriert oder als eigenständiges Portal realisiert werden. Über die zu implementierenden offenen Schnittstellen der Mobilitätsplattform sollten die Daten und Dienste integriert werden.

Referenzen für Mobilitätsportale und die Integration in bestehende Websites sind das Mobilitätsportal der Verkehrsinformationszentrale Berlin (www.viz.berlin.de), das auch in die Website der Hauptstadt berlin.de integriert ist, oder die Integration von An- und Abreiseinformation in die Internetseiten des Flughafens Berlin Brandenburg (www.airport-berlin.de).

Passende Beispiele für potentielle Ertüchtigungen oder Erweiterungen existierender Internetauftritte in Kassel sind nachfolgend aufgeführt.

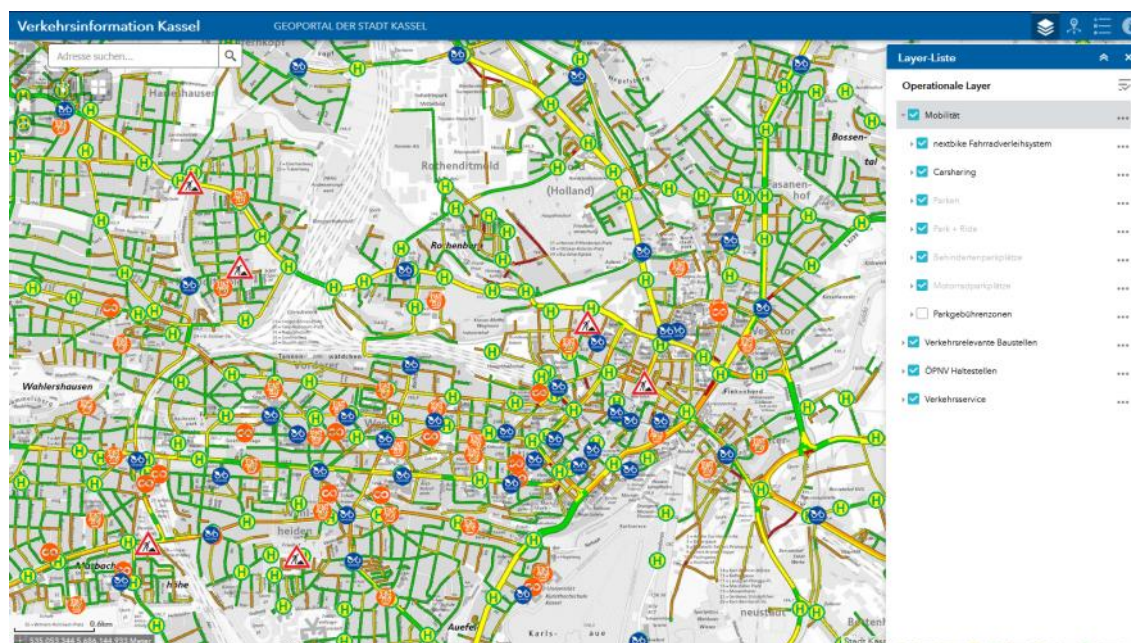


Abbildung 5-17 Aktueller Internetauftritt der Stadt Kassel - Verkehrsinformationen Kassel (Quelle: <https://geoportal-kassel.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=75d37b8587404eb08c104deb92a86e6d>)

In Abbildung 5-17 ist zu sehen, dass auf dem Geoportal der Stadt Kassel bereits verschiedene Verkehrsinformationen zusammengetragen sind:

- ÖPNV-Stationen (ohne Echtzeitdaten)
- Verkehrslage und Baustellen (Quelle here)
- Parkplätze

- Carsharing-Stationen (Scouter und Stattauto)
- Bikesharing (nextbike Stationen)

Insbesondere die letzten drei Kategorien sind ohne Echtzeitinformationen eingebunden. An dieser Stelle bietet sich für die Zukunft die Darstellung bspw. der freien und verfügbaren Nextbike Räder oder der freien Carsharing Autos von Scouter an. Weiterhin fehlt gegenwärtig die Funktionalität des Routings für die integrierten Verkehrs- und Mobilitätsangebote. Insbesondere Routing stellt eine wünschenswerte Funktion dar, um je nach Anwendungsfall die Angebote einfach und schnell mit einander vergleichen zu können.

Multimodaler Mobilitätsmonitor

Multimodale Mobilitätsmonitore informieren Kunden, Besucher und Reisende über die in der nahen Umgebung des Standortes aktuell verfügbaren Mobilitätsangebote.

Die Erreichbarkeit mit Bussen, Bahnen, dem Pkw oder dem Fahrrad ist ein wesentlicher Faktor für die Anziehungskraft von Einzelhandels- und Kulturstandorten und die Servicequalität öffentlicher Einrichtungen. Da die Standort-Erreichbarkeit neben der Anbindung an und Verknüpfung mit verschiedenen Transportmodi und Mobilitätsangeboten zunehmend auch von der aktuellen Verkehrslage bestimmt wird, steigern die aktuellen Mobilitätsinformationen die Attraktivität dieser Einrichtungen.

Der multimodale Mobilitätsmonitor besteht aus mehreren Kartenkomponenten, die beliebig miteinander kombiniert werden können. Zur Auswahl stehen z.B. die Anzeige der aktuellen Verkehrslage im Straßenverkehr, aktuelle Baustellen und weitere Störungsmeldungen. Die Anzeige aktueller Abfahrtszeiten an den umliegenden Haltestellen hilft ÖPNV-Fahrgästen, ihre Abreise besser zu planen. Darüber hinaus können auch Taxisstände, Fahrrad- und Autoverleih-Stationen mit Verfügbarkeitsanzeige integriert werden.



Abbildung 5-18 Umsetzungsbeispiele Multimodaler Mobilitätsmonitor

Der multimodale Mobilitätsmonitor kommt insbesondere an Schnittstellen des Verkehrs, z. B. auf Messegeländen, an Flughäfen oder auch in öffentlichen Verwaltungen zum Einsatz.

Für die Stadt Kassel wird vorgeschlagen, zunächst im Bereich der Bahnhöfe Hauptbahnhof und Wilhelmshöhe Multimodale Mobilitätsmonitore zu installieren.

6. Modellrechnungen und Potentialabschätzungen

6.1 Modellrechnung zur Abschätzung der verkehrlichen Wirkung der Maßnahmen

Zur Bewertung der verkehrlichen Wirkung der in Kapitel 5.2 dargestellten Maßnahmen wurden zusätzlich zum Nullfall (keine Maßnahmen) drei Planfälle entwickelt:

Der erste Planfall bildet die Veränderungen infolge der **Verstetigung** ab.

Der zweite Planfall berücksichtigt über die **Verstetigung** hinaus eine **Steuerung des Verkehrszuflusses** und damit die Reduzierung der Kfz-Verkehrsstärke in den Hotspots.

Der dritte Planfall enthält sowohl die **Verstetigung** als auch die **Steuerung des Verkehrszuflusses** und die **modale Verlagerung**.

Für die Hotspotbereiche können durch die Verstetigung folgende Änderungen der LOS-Anteile erzielt werden (Planfall 1, siehe Tabelle 6-1):

Tabelle 6-1: Verkehrliche Wirkungen der Verstetigung (Planfall 1)

VISUM-ID	Straßenname	Planfall 1				Veränderung gegenüber Nullfall			
		LOS1 frei	LOS2 dicht	LOS3 gesättigt	LOS4 Stop+Go	LOS1 frei	LOS2 dicht	LOS3 gesättigt	LOS4 Stop+Go
111458	Schönfelder Str. 50	5,0%	85,0%	10,0%	0,0%	0,0%	37,6%	-18,9%	-18,7%
118735	Brüderstr. 5	5,0%	70,0%	20,0%	5,0%	0,0%	23,7%	-12,8%	-10,9%
108972	Holländische Str. 157	5,0%	90,0%	5,0%	0,0%	0,0%	27,0%	-14,3%	-12,7%
100485	Fünffensterstr. 14	5,0%	70,0%	15,0%	10,0%	0,0%	30,4%	-15,8%	-14,6%
118150	Frankfurter Str. 102	5,0%	90,0%	5,0%	0,0%	0,0%	13,8%	-9,7%	-4,1%
110810	Wolfhager Str. 124	5,0%	90,0%	5,0%	0,0%	0,0%	12,5%	-9,6%	-2,9%
101813	Ysenburgstr. 29	5,0%	75,0%	10,0%	10,0%	0,0%	36,7%	-11,3%	-25,4%

Durch die Maßnahmen der Verstetigung und Steuerung des Verkehrszuflusses (Planfall 2) sowie Verstetigung und Steuerung des Verkehrszuflusses und modale Verlagerung (Planfall 3) können folgende Veränderungen in den Kfz-Verkehrsstärken (DTV) in den Hotspot-Abschnitten erreicht werden (siehe Tabelle 6-2):

Tabelle 6-2: Verkehrliche Wirkungen (Planfall 2) und (Planfall 3)

VISUM-ID	Straßenname	DTV Nullfall	DTV Planfall 2	DTV Planfall 3	Veränderung Planfall 2 ggü. Nullfall	Veränderung Planfall 3 ggü. Nullfall
		[Kfz/24h]	[Kfz/24h]	[Kfz/24h]		
111458	Schönfelder Str. 50	21.474	21.384	21.322	-0,42%	-0,71%
118735	Brüderstr. 5	43.369	43.201	42.995	-0,39%	-0,86%
108972	Holländische Str. 157	31.570	30.213	29.988	-4,30%	-5,01%
100485	Fünffensterstr. 14	17.739	17.768	17.806	0,16%	0,38%
118150	Frankfurter Str. 102	28.931	28.723	28.309	-0,72%	-2,15%
110810	Wolfhager Str. 124	13.939	13.546	13.526	-2,82%	-2,96%
101813	Ysenburgstr. 29	22.223	22.090	21.933	-0,60%	-1,30%

Über die verkehrliche Wirkung in Bezug auf das Gesamtjahr (DTV) hinaus wurden auch die Wirkungen für die Spitzenstunde ermittelt. Hierbei wurden Spitzenstundenanteile aus vorliegenden Dauerzählstellen abgeleitet und für die Betrachtung der Hotspots ein mittlerer Spitzenstundenanteil von 7 % am DTV_{w5} (Mo-Fr) angesetzt. Für die Aufteilung der Verkehrsstärken auf die vier HBEFA-Verkehrszustände wurden die FCD für die Zeitbereiche Montag-Donnerstag (ohne Feiertage) von 6 bis 9 und von 15 bis 18 Uhr herangezogen. Hieraus wur-

den unter Zuhilfenahme der vorliegenden Tagesganglinien an einigen Dauerzählstellen die LOS-Anteile für die Spitzenstunde selbst abgeleitet. Die Spitzenstundenwerte können der Tabelle 6-4 entnommen werden.

6.2 Modellrechnung zur Abschätzung der Wirkung auf die NO₂-Reduktion

Für die Ermittlung der Wirkung von Maßnahmen im Hotspot im Rahmen eines UVM sind Angaben zur Häufigkeit der Aktivierung und zur Minderung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung je Aktivierung erforderlich.

Die Häufigkeit der Aktivierung wird durch das Kriterium der Maßnahmenauslösung bestimmt. Die Auslösung von Maßnahmen erfolgt im Allgemeinen durch das Überschreiten von definierten Schwellenwerten der Luftbelastung (siehe Kapitel 2.1). Als Kenngröße wird hier der Stundenmittelwert der NO₂-Konzentration verwendet.

Da in den ausgewählten Hotspots, außer der Fünffensterstraße, keine kontinuierlichen NO₂-Messungen durchgeführt werden musste zur Potenzialabschätzungen ein Abschätzverfahren entwickelt werden, dass zum einen den Anteil des städtischen Hintergrunds und zum anderen eine Übertragung auf die anderen Hotspots ermöglicht. Dies wird im Folgenden erläutert.

6.2.1 Verfahren zur Erzeugung einer virtuellen stündlichen Zeitreihe der NO₂-Belastung in den Hotspots

Für die Erzeugung einer stündlichen Zeitreihe der NO₂-Belastung an den Hotspots wird der zeitliche Verlauf der kontinuierlich messenden Verkehrsmessstation auf den mittels des Screeningverfahrens bestimmten NO₂-Jahresmittelwert übertragen. Da für die Wirkungsabschätzung der lokal wirkenden Maßnahmen der Anteil der lokalen Verkehrsemissionen an diesen NO₂-Stundenwerten bekannt sein muss, wird der stündliche Vorbelastungsanteil auf der Basis von Messungen im städtischen Hintergrund abgeschätzt.

In Kassel werden kontinuierliche NO₂-Messungen an der verkehrsbezogenen Messstelle an der Fünffensterstraße und im städtischen Hintergrund an der Station Kassel-Mitte durchgeführt.

6.2.2 Ermittlung des Wirkungspotenzials von temporären UVM-Maßnahmen

Zur Analyse der Wirkung einer temporär aktivierten Maßnahme wurde ein Tool entwickelt, mit dem, auf der Basis von Messzeitreihen oder Zeitreihen einer Modellierung, die Wirkungen bei veränderbaren Auslöseschwellen und Minderungswirkungen von temporären Maßnahmen auf Jahreskenngrößen ermittelt werden können.

Dazu werden die Konzentrationszeitreihen eines Hotspots und einer Zeitreihe der Vorbelastung bzw. Hintergrundkonzentration für ein ausgewähltes Jahr in Excel in stündlicher Auflösung aufbereitet. Die Differenz zwischen der jeweiligen Hotspot-Konzentration und der Vorbelastung wird berechnet und als mit der Maßnahme beeinflussbare Zusatzbelastung definiert. Diese Zusatzbelastung wird bei Überschreiten eines einstellbaren Schwellenwertes der Gesamtbelastung am Hotspot um den ebenfalls vorgebbaren Minderungseffekt der Maßnahme reduziert. Aus der Addition der temporär geminderten Zusatzbelastung und der unveränderten Vorbelastung ergibt sich so eine neue Zeitreihe unter Berücksichtigung der temporär aktivierten Maßnahme.

Für diese Zeitreihe kann der Jahresmittelwert dem Jahresmittelwert der Ausgangsbelastung im Hotspot gegenübergestellt werden und so die gesamte Minderungswirkung bestimmt werden. Durch Auszählen der Häufigkeit des Überschreitens des Schwellenwertes wird die Aktivierungsrate berechnet.

In der vorliegenden Betrachtung für Kassel wurden zwei Maßnahmenaktivierungen unterschieden:

Maßnahme 1: Falls für den Betrachtungstag nur für einzelne Stunden eine Schwellenwertüberschreitung prognostiziert wird, erfolgt nur eine Ontrip-Information. Eine vorherige Information der Verkehrsteilnehmer (Tag + 1) erfolgt nicht, sodass modale Verlagerungen ausgeschlossen werden. Durch die Veränderung der LSA-Steuerung wird aber bei einer entsprechenden Aktivierung in der betreffenden Stunde die LOS-Situation verbessert. In dieser Maßnahme wird nur die Wirkung des Planfalls 1 berücksichtigt.

Maßnahme 2: Wird der vorgegebene Schwellenwert an einem Tag mehrmals überschritten, so wird davon ausgegangen, dass die Verkehrsteilnehmer am Vortag über die verkehrlichen Einschränkungen informiert werden. Es wird angenommen, dass aufgrund der Information eine Veränderung des Modal-Splits eintritt und die Verkehrsstärke im Hotspot entsprechend ganztägig reduziert wird. Ergänzend tritt eine Verbesserung der LOS-Situation durch die Änderung der LSA-Steuerung ein. In diesem Fall wird die Wirkung des Planfalls 3 berücksichtigt.

6.2.3 Abschätzung der Wirkung der Maßnahme bei ganzjähriger Aktivierung

Auf Grundlage der Ergebnisse der Berechnungen des Nullfalls und der verkehrlichen Wirkungen aus Kapitel 6.1 wurden die Wirkungen der Maßnahmen auf die NO₂-Gesamtbelastung unter Annahme einer ganzjährigen Aktivierung mit dem Screeningmodell IMMIS^{Luft} abgeschätzt (Tabelle 6-3). Dabei wurden für den Planfall 1 nur die Verbesserung der LOS-Situation (Tabelle 6-1) und für die Planfälle 2 und 3 zusätzlich eine DTV-Änderung (Tabelle 6-2) angenommen.

Unter der Annahme der ganzjährigen Aktivierung, was unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen nicht umsetzbar und in seiner Wirkung ganzjährig auch schwerlich erreichbar wäre, würde unter den hier getroffenen Bedingungen eine Minderung des NO₂-Jahresmittelwerts bis zu 4.3 µg/m³ bzw. um gut 9 % erreicht, was aber in den Abschnitten mit einer modellierten Grenzwertüberschreitung nicht ausreichen würde den NO₂-Grenzwert einzuhalten.

Tabelle 6-3: Ergebnisse der Abschätzung der Wirkung der Maßnahme bei ganzjähriger Aktivierung auf den NO₂-Jahresmittelwert für die 3 Planfälle

ID	NAME	NF	PF1	Änderung zu NF		PF2	Änderung zu NF		PF3	Änderung zu NF	
		µg/m ³	µg/m ³	abs. µg/m ³	rel.	µg/m ³	abs. µg/m ³	rel.	µg/m ³	abs. µg/m ³	rel.
40	Brüderstr.	50.7	48.5	-2.2	-4.4%	48.4	-2.3	-4.6%	48.3	-2.5	-4.8%
41	Fünffensterstr.	39.9	37.9	-2.0	-4.9%	37.9	-1.9	-4.9%	38.0	-1.9	-4.8%
42	Frankfurter Str.	42.3	41.4	-0.9	-2.0%	41.3	-1.0	-2.4%	41.0	-1.3	-3.0%
46	Holländische Str.	43.7	41.4	-2.2	-5.1%	40.6	-3.1	-7.1%	40.4	-3.2	-7.4%
54	Schönfelder Str.	52.1	48.5	-3.6	-6.8%	48.4	-3.7	-7.0%	48.3	-3.7	-7.2%
58	Wolfhager Str.	33.0	32.6	-0.4	-1.2%	32.2	-0.7	-2.2%	32.2	-0.7	-2.3%
59	Ysenburgstr.	46.3	42.3	-4.0	-8.6%	42.2	-4.1	-8.9%	42.0	-4.3	-9.2%
NF – Nullfall / Basisfall											
PF1,2,3 – Planfall 1, 2, 3											

6.2.4 Maßnahmenwirkung bei hoher Verkehrsbelastung

Im Allgemeinen treten hohe NO₂-Belastungen in Hotspots als Folge einer hohen Verkehrsbelastung oftmals verbunden mit einer schlechteren Verkehrsqualität auf. Dementsprechend greifen die UVM-Maßnahmen ein, um diese Spitzenbelastungen entsprechend zu beeinflussen. Um die Wirkung einer solchen Maßnahme im Rahmen einer Potenzialabschätzung bestimmen zu können, wird im Folgenden das Minderungspotenzial anhand von Spitzenstunden ermittelt. Die Berechnungsgrundlage bilden weiterhin die Emissionsberechnungen nach Abschnitt 3.3.3. Die stündliche Verkehrsbelastung einer Spitzenstunde verbunden mit der Verkehrsqualität in den vier LOS-Stufen wurde für den Nullfall und die beiden Planfälle 1 und 3 für alle Hotspots ermittelt und als Eingangsdaten für die Emissionsberechnung verwendet. Diese Eingangsdaten und die berechneten NO_x-Emissionen sowie die Minderungen ausgehend vom Nullfall zu den Planfällen sind in Tabelle 6-4 für den Planfall 1 und in Tabelle 6-5 für den Planfall 3 dargestellt. Wie aus Tabelle 6-2 ersichtlich wird sind die Unterschiede in der Wirkung der Planfälle 2 und 3 auf die Verkehrsbelastung nur gering, weshalb hier nur der Planfall 3 als optimistischer Fall untersucht wird.

Mit der Maßnahme 1 bzw. dem Planfall 1 werden im Mittel die NO_x-Emissionen in den Spitzenstunden in der Wolfhager Straße nur um 2.5 % gemindert, was daran liegt, dass bereits im Nullfall nur eine geringe Störung in der Verkehrsqualität festgestellt wird. In den anderen Abschnitten liegt das Minderungspotenzial je nach Verbesserungsmöglichkeiten der Verkehrsqualität zwischen 5.4 % in der Frankfurter Str. und 25.7 % in der Ysenburgstraße. Das hohe Minderungspotenzial ist begründet in dem hohen Anteil LOS4 im Nullfall der im Planfall 1 deutlich gesenkt werden kann.

Tabelle 6-4: Liste ausgewählter Eingangsdaten und Ergebnisse der NO_x-Emissionsberechnung für die Spitzenstunde in den Hotspots für den Nullfall (NF) und Planfall 1

I D	Name	Nullfall (NF)					Planfall 1					
		Kf z/h	LOS2 (%)	LOS3 (%)	LOS4 (%)	E. (g/(m* d)	Kf z/h	LOS2 (%)	LOS3 (%)	LOS4 (%)	E. g/(m* h)	Mind. zu NF
4 0	Brüderstr.	33 73	27.9	45.4	26.7	1.879	33 73	50	40	10	1.703	9.4%
4 1	Fünffensterstr.	13 80	10.7	46.3	43	0.952	13 80	50	40	10	0.78	18.1%
4 2	Frankfurter Str.	22 50	74	18.5	7.5	1.133	22 50	85	15	0	1.072	5.4%
4 6	Holländische Str.	24 55	47.5	30.2	22.3	1.432	24 55	65	25	10	1.316	8.1%
5 4	Schönfelder Str.	16 70	22.4	42.9	34.7	1.008	16 70	50	40	10	0.892	11.5%
5 8	Wolfhager Str.	10 84	74.9	22.1	3	0.558	10 84	80	20	0	0.544	2.5%
5 9	Ysenburgstr.	17 28	9.8	31.8	58.4	1.151	17 28	65	25	10	0.855	25.7%

E. – NO_x-Emissionen
Mind.- Minderung

Eine Berücksichtigung von Minderungen der Verkehrsbelastung in den Spitzenstunden, wie es im Planfall 3 angenommen wird, führt entsprechend zu deutlich höheren Minderungspotenzialen der NO_x-Emissionen. So gehen die NO_x-Emissionen in den Spitzenstunden unter den angenommenen Randbedingungen zwischen 18.8 % in der Wolfhager Straße und 37.5 % in der Ysenburgstraße zurück.

Tabelle 6-5: Liste ausgewählter Eingangsdaten und Ergebnisse der NO_x-Emissionsberechnung für die Spitzenstunde in den Hotspot für den Nullfall (NF) und Planfall 3

I D	Name	Nullfall (NF)					Planfall 3					
		Kf z/h	LOS2 (%)	LOS3 (%)	LOS4 (%)	E. (g/(m* d))	Kf z/h	LOS2 (%)	LOS3 (%)	LOS4 (%)	E. g/(m* d)	Mind. zu NF
4 0	Brüderstr.	33 73	27.9	45.4	26.7	1.879	28 42	50	40	10	1.435	23.6%
4 1	Fünffensterstr.	13 80	10.7	46.3	43	0.952	11 77	50	40	10	0.669	29.7%
4 2	Frankfurter Str.	22 50	74	18.5	7.5	1.133	18 72	85	15	0	0.888	21.6%
4 6	Holländische Str.	24 55	47.5	30.2	22.3	1.432	19 82	65	25	10	1.06	26.0%
5 4	Schönfelder Str.	16 70	22.4	42.9	34.7	1.008	14 09	50	40	10	0.754	25.2%
5 8	Wolfhager Str.	10 84	74.9	22.1	3	0.558	89 4	80	20	0	0.453	18.8%
5 9	Ysenburgstr.	17 28	9.8	31.8	58.4	1.151	14 50	65	25	10	0.719	37.5%
E. – NO _x -Emissionen												
Mind.- Minderung												

6.2.5 Ermittlung des Wirkungspotenzials der temporären UVM-Maßnahme 1

Im Folgenden wird die Wirkung der temporären Aktivierung am Beispiel eines Schwellenwerts der Maßnahmenauslösung von 80 µg/m³ als NO₂-Stundemittelwert exemplarisch für die Schönfelder Straße (ID 54) berechnet und beschrieben. In Tabelle 6-6 sind die Daten entsprechend aufgeführt. Dabei wird hier angenommen, dass nur die Maßnahme 1 bzw. der Planfall 1 beim Überschreiten eines Schwellenwerts aktiviert wird.

Die Aktivierung der Maßnahme erfolgt nur im Zeitraum 7:00 bis 19:00 Uhr. Als Maßnahmenwirkung für die Maßnahme 1 wird das für die Schönfelder Straße nach Tabelle 6-4 ermittelte Potenzial zur Minderung der lokalen NO_x-Emissionen in Höhe von 11.5 % angenommen. Ausgehend von dem für 2017 mit dem Screeningmodell ermittelten NO₂-Jahresmittelwert in Höhe von 52.1 µg/m³ wird durch die Aktivierung der Maßnahmen in 1'053 Stunden bzw. 12.1 % der Jahresstunden der NO₂-Jahresmittelwert um 1 µg/m³ bzw. 1.8 % gesenkt.

Tabelle 6-6: Analyse des Wirkungspotenzials bei einem Schwellenwert von 80 µg/m³ als NO₂-Stundenmittelwert für den Hotspot Schönfelder Straße

Schwellenwert [µg/m ³]	80
Früheste Aktivierung (Start)	07:00
Ende einer möglichen Aktivierung	19:00
Wirkung Maßnahme 1	11.5%
NO ₂ -Jahresmittelwert aus Nullfall	52.1
NO ₂ -Jahresmittelwert (Maßnahme temporär aktiv)	51.1
Reduktion NO ₂ -JMW [µg/m ³]	-1
Reduktion NO ₂ -JMW [%]	-1.8%
Aktivierung (h)	1053
Aktivierungsrate	12.1%

Zur Erklärung der Wirkungsweise der temporären Maßnahmen sind in Abbildung 6-2 die Zeitreihen der stündlichen NO₂-Konzentrationen ohne und mit UVM-Maßnahme für das ganze Jahr 2017 und für den Monat Januar dargestellt. Es ist zu erkennen, dass über das ganze Jahr verteilt Aktivierungen auftreten. Anhand der feineren Darstellung für den Januar ist aber auch zu erkennen, dass es Zeiträume ohne Aktivierungen gibt, obwohl der Schwellenwert überschritten wird. Hier treten in den NO₂-Messdaten für den verkehrlichen Hotspot hohe Konzentrationen auch in den Nachtstunden zwischen 20 und 6 Uhr auf, bei denen in der hier erstellten Wirkungsabschätzung davon ausgegangen wurde, dass diese hohen Konzentrationen auf Grund geringer Verkehrsstärken nicht durch verkehrliche Maßnahmen wesentlich beeinflusst werden können.

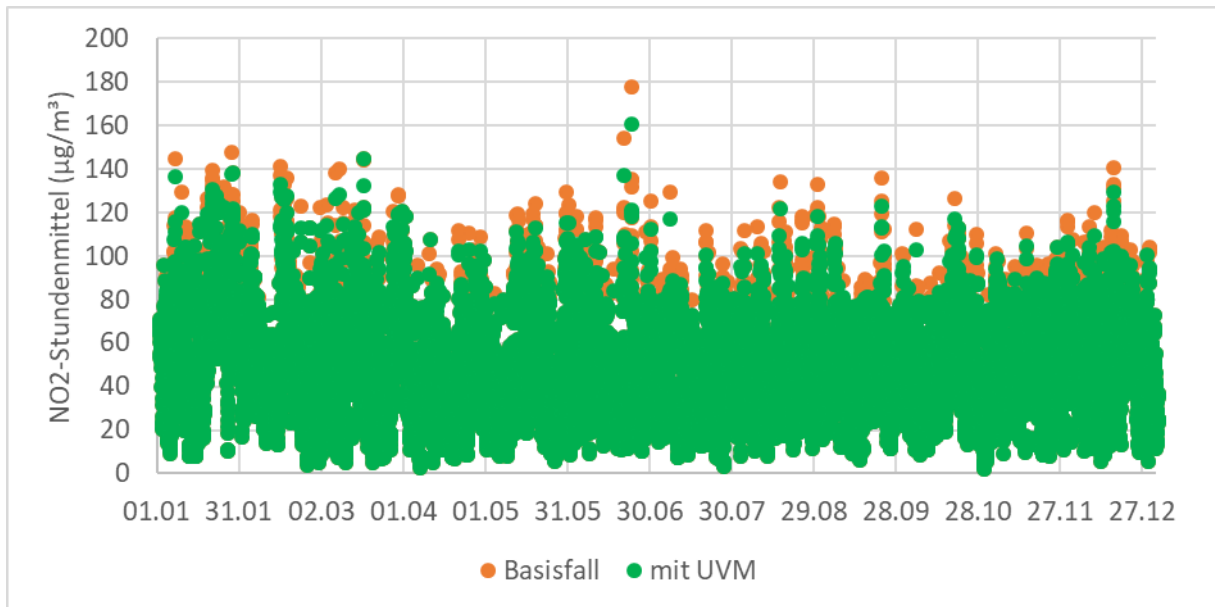


Abbildung 6-1: Zeitreihe der NO₂-Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 für das ganze Jahr 2017

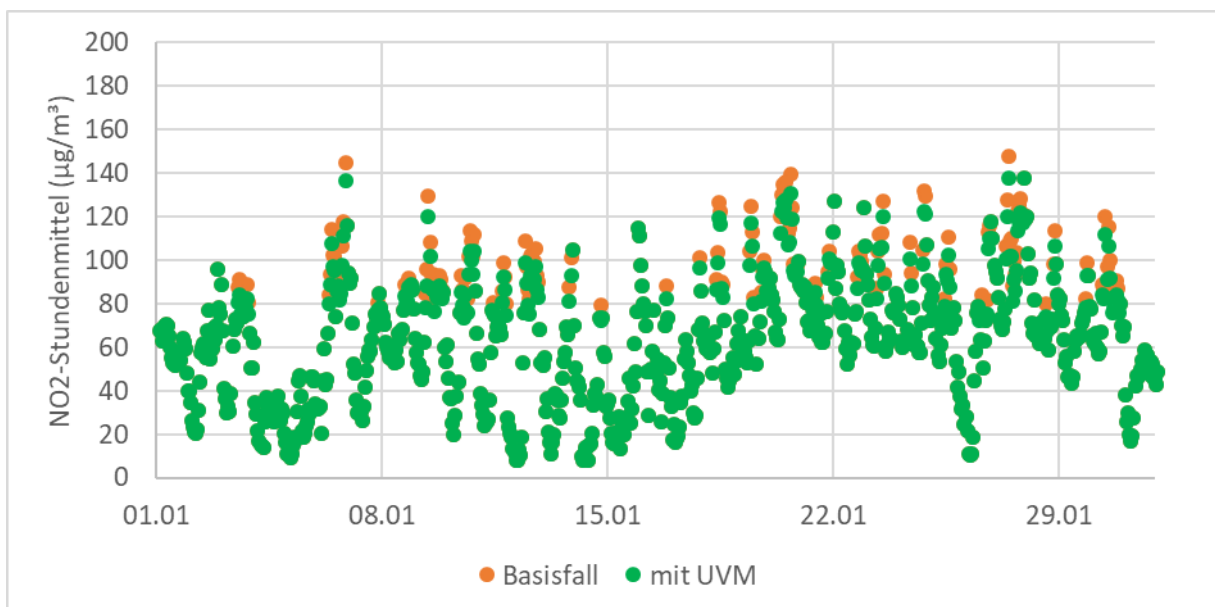


Abbildung 6-2: Zeitreihe der NO₂-Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 für den Monat Januar 2017

6.2.6 Ermittlung des Wirkungspotenzials der temporären UVM-Maßnahmen 1+2

Ergänzend zu der Ermittlung des Wirkungspotenzials für die Maßnahme 1 im vorangegangenen Abschnitt wird im Folgenden die Wirkung analog für eine zusätzliche Aktivierung der Maßnahme 2 bzw. dem Planfall 3 beim Auftreten von mindestens 6 Schwellenüberschreitungen pro Tag berechnet und beschrieben. In Tabelle 6-6 sind die Daten entsprechend aufgeführt.

Als Maßnahmenwirkung der zusätzlichen Maßnahme 2/Planfall 3 wird das nach Tabelle 6-5 für die Schönfelder Straße ermittelte Potenzial zur Minderung der lokalen NO_x-Emissionen in Höhe von 25.2 % angenommen. Ausgehend von dem für 2017 ermittelten Jahresmittelwert in Höhe von 52.1 µg/m³ wird durch die Aktivierung der Maßnahme 2 an 85 Tagen und zusätzlich der Maßnahme 1 an 300 Stunden der NO₂-Jahresmittelwert um 2.2 µg/m³ bzw. 4.1 % gesenkt.

Tabelle 6-7: Analyse des Wirkungspotenzials bei einem Schwellenwert von 80 µg/m³ als NO₂-Stundenmittelwert für den Hotspot Schönfelder Straße

Schwellenwert [µg/m ³]	80
Früheste Aktivierung (Start)	07:00
Ende einer möglichen Aktivierung	19:00
Wirkung Maßnahme 1	11.5%
Wirkung Maßnahme 2	25.2%
NO ₂ -Jahresmittelwert aus Nullfall	52.1
NO ₂ -Jahresmittelwert (Maßnahme temporär aktiv)	49.9
Reduktion NO ₂ -JMW [µg/m ³]	-2.2
Reduktion NO ₂ -JMW [%]	-4.1%
Aktivierung (h)	300
Aktivierungsrate	3%
Aktivierung (Tage)	85
Aktivierungsrate	23 %

Die folgende Abbildung 6-3 zeigt die Anzahl von Schwellenwertüberschreitungen am Tag. Bei sechs oder mehr Überschreitungen pro Tag, wird die Maßnahme 2 (ganztags) aktiviert und sonst nur die Maßnahme 1 (stündlich).

Zur Erklärung der beiden Extremwerte und der Wirkungsweise der temporären Maßnahmen sind in Abbildung 6-2 die Zeitreihen der stündlichen NO₂-Konzentrationen ohne und mit UVM-Maßnahme für das ganze Jahr 2017 und für die Monate Januar und April dargestellt.

Auch gilt das bereits zum vorgehenden Abschnitt zur Maßnahme 1 gesagte zu den Schwellenwertüberschreitungen in den Nachtstunden. Im Vergleich zur Darstellung des Januars mit Maßnahme 1 in Abbildung 6-1 sind hier häufigere Aktivierungen wegen der tagweisen Aktivierung und in den Aktivierungsstunden auch höhere Minderungen zu erkennen.

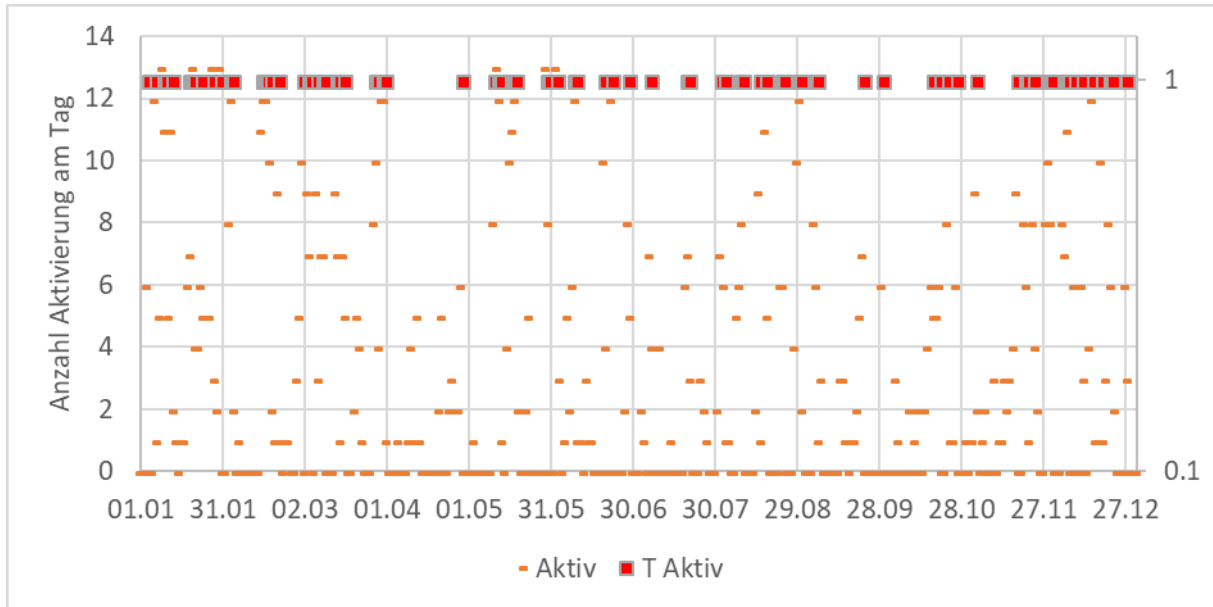


Abbildung 6-3: Darstellung der Schwellenwertüberschreitungen pro Tag (Aktiv) und Aktivierungen der Maßnahme 2 ganztags (T Aktiv)

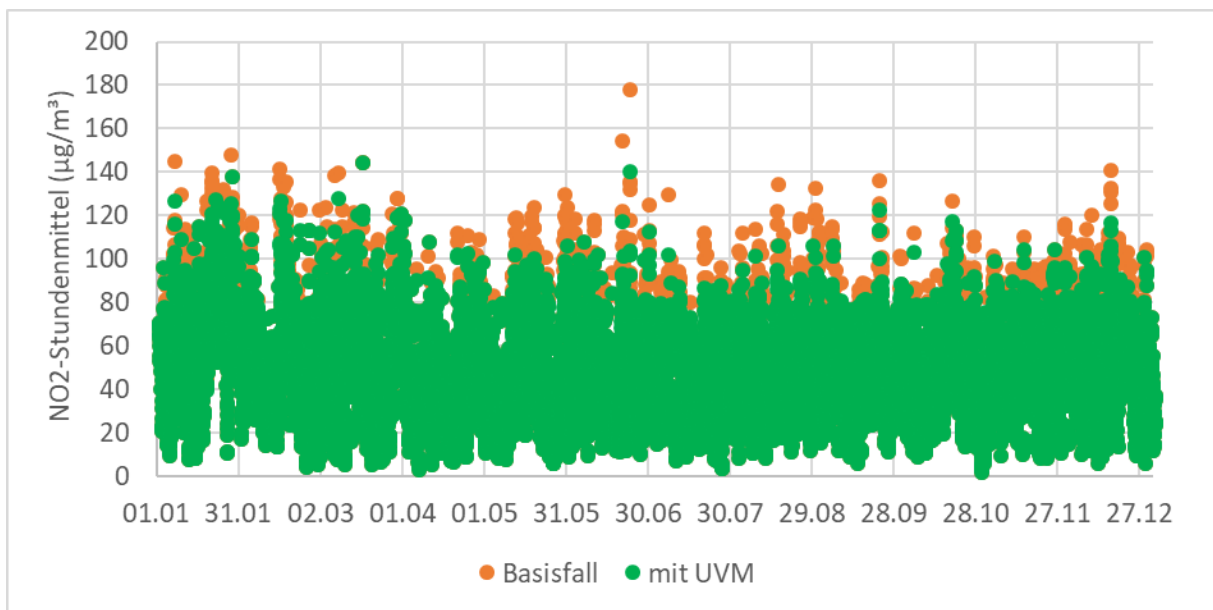


Abbildung 6-4: Zeitreihe der NO₂-Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 + 2 für das ganze Jahr 2017

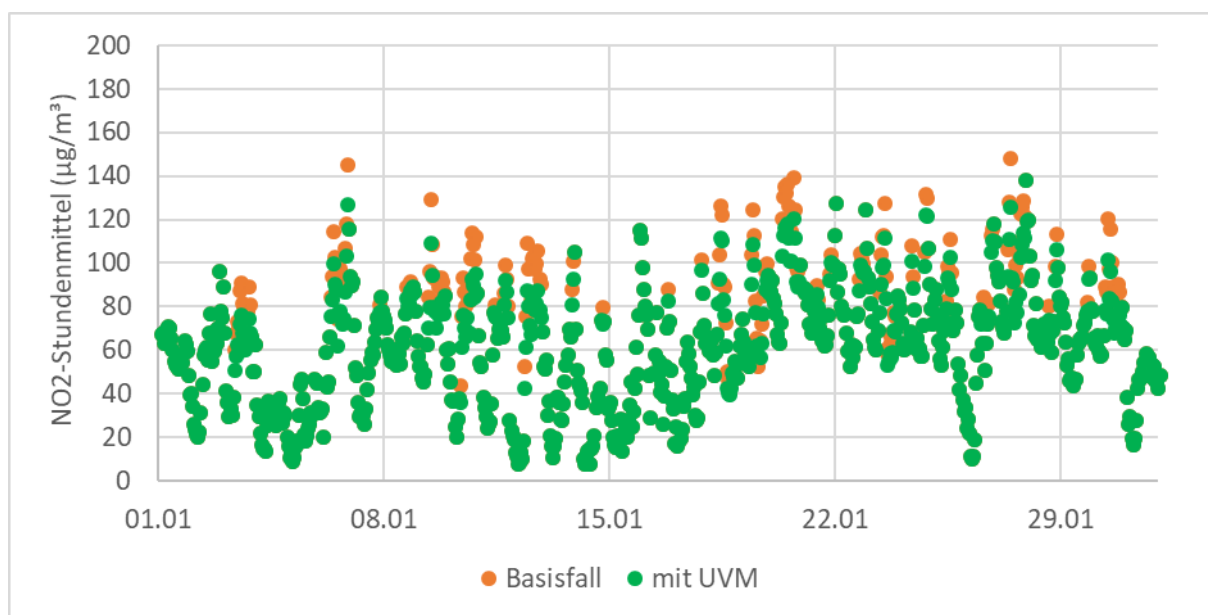


Abbildung 6-5: Zeitreihe der NO₂-Stundenmittelwerte am Hotspot Schönfelder Straße ohne und mit UVM-Maßnahme 1 + 2 für Januar 2017

6.2.7 Potentialabschätzung für alle Hotspots mit Variation des Schwellenwerts

Mit der am Beispiel der Schönfelder Straße beschriebenen Methodik wurde für alle ausgewählten Hotspots das Potenzial der UVM-Maßnahmen ermittelt. Dabei wurden vier unterschiedliche Schwellenwerte der stündlichen NO₂-Konzentration in Höhe von 90 µg/m³, 80 µg/m³, 70 µg/m³ und 60 µg/m³ angesetzt.

Es werden in Tabelle 6-8 bis Tabelle 6-11 die Potenziale und Anwendungshäufigkeiten für den Planfall 1 mit der Maßnahme 1 und in Tabelle 6-12 bis Tabelle 6-15 für den Planfall 3 mit den Maßnahmen 1+2 aufgeführt.

In der Wolfhager Straße wird nach den Modellberechnungen der NO₂-Jahresgrenzwert mit 33 µg/m³ deutlich unterschritten, im Folgenden wird deshalb dieser Straßenabschnitt mit seinen Wirkungen nicht weiter diskutiert.

Im Planfall 1 mit der Maßnahme 1, die nur einer Verbesserung der Verkehrsqualität an Stunden mit Überschreitungen des jeweiligen Schwellenwerts bewirkt, werden mit einem Schwellenwert von 90 µg/m³ nur geringe Anwendungshäufigkeiten mit 89 bis 655 Stunden im Jahr erzielt, dem entsprechend liegen die Minderungen des NO₂-Jahresmittelwerts im Bereich von 0.1 µg/m³ bzw. 0.3 % in der Fünffensterstraße und 0.6 µg/m³ bzw. -1.3% in der Ysenburgstraße.

Bei einem Schwellenwert in Höhe von 80 µg/m³ steigen die Minderungen des NO₂-Jahresmittelwerts bis 1.1 µg/m³ bzw. 2.4 % in der Ysenburgstraße. Damit verbunden sind steigende Anwendungshäufigkeiten von 3 % bis 12 % der Jahresstunden.

Das weitere Absenken des Schwellenwerts führt entsprechend zu höheren Anwendungshäufigkeiten und damit verbunden zu entsprechend höheren Minderungswirkungen. Bei einem Schwellenwert von 60 µg/m³ ist bei den nach den Modellberechnungen am höchsten belasteten Abschnitte, wie der Schönfelder Straße, der Brüderstraße und der Ysenburgstraße mit Anwendungshäufigkeiten von über 20 % zu rechnen.

Mit dem Planfall 3, also der Aktivierung der Maßnahme 2, die eine Veränderung des Modal-Splits berücksichtigt und damit eine Reduktion der Verkehrsmenge werden entsprechend

höhere Minderungswirkungen bei vergleichbaren Schwellenwerten erreicht. Nimmt als Beispiel den Schwellenwert von 80 µg/m³ erhöht sich die Minderungswirkung in der Ysenburgstraße von 1.1 µg/m³ bzw. 2.4 % im Planfall 1 auf 1.8 µg/m³ bzw. 3.8 % im Planfall 3. Die Anwendungshäufigkeit ist in diesem Fall mit 40 Tagen und zusätzlich 3030 Stunden im Jahr noch moderat.

Anhand dieser Analyse der Minderungspotenziale der temporären UVM-Maßnahmen in Abhängigkeit von Schwellenwerten wird der Vorteil des UVM deutlich, da abhängig von der aktuellen Belastungssituation steuernd eingegriffen werden kann, um mit möglichst wenigen Anwendungen eine zielführende Minderungswirkung zu erreichen.

Tabelle 6-8: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 90 µg/m³ im Planfall 1

ID	Name	Wirkung	NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m ³]		Minderung		Anwendungshäufigkeit	
			Maßnahme 1 (stündlich)	Basis	mit Maßnahme 1	absolut [µg/m ³]	relativ	Maßnahme 1 (stündlich)
		Stunden						Anteil
54	Schönfelder Str. 50	11.5%	52.0	51.4	-0.6	-1.2%	655	8%
41	Fünffensterstr. 14	18.1%	39.9	39.8	-0.1	-0.3%	89	1%
46	Holländische Str. 157	8.1%	43.6	43.6	-0.1	-0.3%	208	2%
58	Wolfhager Str. 124	2.5%	33.0	33.0	0.0	0.0%	6	0%
42	Frankfurter Str. 102	5.4%	42.3	42.2	-0.1	-0.1%	159	2%
40	Brüderstr. 5	9.4%	50.6	50.3	-0.4	-0.8%	548	6%
59	Ysenburgstr. 29	25.7%	46.2	45.7	-0.6	-1.3%	317	4%

Tabelle 6-9: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 80 µg/m³ im Planfall 1

ID	Name	Wirkung	NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m ³]		Minderung		Anwendungshäufigkeit	
			Maßnahme 1 (stündlich)	Basis	mit Maßnahme 1	absolut [µg/m ³]	relativ	Maßnahme 1 (stündlich)
		Stunden						Anteil
54	Schönfelder Str. 50	11.5%	52.0	51.1	-0.9	-1.8%	1053	12%
41	Fünffensterstr. 14	18.1%	39.9	39.6	-0.3	-0.7%	251	3%
46	Holländische Str. 157	8.1%	43.6	43.4	-0.2	-0.6%	462	5%
58	Wolfhager Str. 124	2.5%	33.0	33.0	0.0	0.0%	43	0%
42	Frankfurter Str. 102	5.4%	42.3	42.1	-0.1	-0.3%	387	4%
40	Brüderstr. 5	9.4%	50.6	50.0	-0.7	-1.3%	965	11%
59	Ysenburgstr. 29	25.7%	46.2	45.1	-1.1	-2.4%	645	7%

Tabelle 6-10: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 70 µg/m³ im Planfall 1

ID	Name	Wirkung	NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m³]		Minderung		Anwendungshäufigkeit	
			Maßnahme 1 (stündlich)	Basis	mit Maßnahme 1	absolut [µg/m³]	relativ	Maßnahme 1 (stündlich)
		Stunden						Anteil
54	Schönfelder Str. 50	11.5%	52.0	50.7	-1.3	-2.4%	1586	18%
41	Fünffensterstr. 14	18.1%	39.9	39.3	-0.6	-1.5%	595	7%
46	Holländische Str. 157	8.1%	43.6	43.2	-0.4	-1.0%	901	10%
58	Wolfhager Str. 124	2.5%	33.0	33.0	0.0	-0.1%	160	2%
42	Frankfurter Str. 102	5.4%	42.3	42.0	-0.2	-0.6%	794	9%
40	Brüderstr. 5	9.4%	50.6	49.7	-0.9	-1.9%	1474	17%
59	Ysenburgstr. 29	25.7%	46.2	44.4	-1.8	-3.9%	1108	13%

Tabelle 6-11: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 60 µg/m³ im Planfall 1

ID	Name	Wirkung	NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m³]		Minderung		Anwendungshäufigkeit	
			Maßnahme 1 (stündlich)	Basis	mit Maßnahme 1	absolut [µg/m³]	relativ	Maßnahme 1 (stündlich)
		Stunden						Anteil
54	Schönfelder Str. 50	11.5%	52.0	50.4	-1.6	-3.1%	2224	26%
41	Fünffensterstr. 14	18.1%	39.9	38.8	-1.0	-2.5%	1131	13%
46	Holländische Str. 157	8.1%	43.6	43.0	-0.7	-1.5%	1488	17%
58	Wolfhager Str. 124	2.5%	33.0	32.9	0.0	-0.1%	482	6%
42	Frankfurter Str. 102	5.4%	42.3	41.9	-0.4	-0.9%	1360	16%
40	Brüderstr. 5	9.4%	50.6	49.4	-1.2	-2.4%	2102	24%
59	Ysenburgstr. 29	25.7%	46.2	43.7	-2.5	-5.5%	1716	20%

Tabelle 6-12: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 90 µg/m³ im Planfall 3

ID	Name	Wirkung		NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m³]		Minderung Maßnahme 1 & 2		Anwendungshäufigkeit			
		Maßnahme 1 (stündlich)	Maßnahme 2 (ganztags)	Basis	mit Maßnahme 1 & 2	absolut [µg/m³]	relativ	Maßnahme 1 (stündlich)		Maßnahme 2 (ganztags)	
								Stunden	Anteil	Tage	Anteil
54	Schönfelder Str.	11.5%	25.2%	52.0	50.8	-1.3	-2.5%	304	3%	41	11%
41	Fünffensterstr.	18.1%	29.7%	39.9	39.8	-0.1	-0.3%	69	1%	3	1%
46	Holländische Str.	8.1%	26.0%	43.6	43.5	-0.2	-0.5%	152	2%	7	2%
58	Wolfhager Str.	2.5%	18.8%	33.0	33.0	0.0	0.0%	6	0%	0	0%
42	Frankfurter Str.	5.4%	21.6%	42.3	42.2	-0.1	-0.2%	126	1%	4	1%
40	Brüderstr.	9.4%	23.6%	50.6	49.7	-0.9	-1.9%	267	3%	33	9%
59	Ysenburgstr.	25.7%	37.5%	46.2	45.5	-0.8	-1.7%	220	3%	12	3%

Tabelle 6-13: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 80 µg/m³ im Planfall 3

ID	Name	Wirkung		NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m³]		Minderung Maßnahme 1 & 2		Anwendungshäufigkeit			
		Maßnahme 1 (stündlich)	Maßnahme 2 (ganztags)	Basis	mit Maßnahme 1 & 2	absolut [µg/m³]	relativ	MAßNAHME 1 (stündlich)		MAßNAHME 2 (ganztags)	
								Stunden	Anteil	Tage	Anteil
54	Schönfelder Str.	11.5%	25.2%	52.0	49.9	-2.1	-4.1%	300	3%	85	23%
41	Fünffensterstr.	18.1%	29.7%	39.9	39.5	-0.4	-0.9%	180	2%	9	2%
46	Holländische Str.	8.1%	26.0%	43.6	43.0	-0.7	-1.6%	243	3%	27	7%
58	Wolfhager Str.	2.5%	18.8%	33.0	33.0	0.0	0.0%	37	0%	1	0%
42	Frankfurter Str.	5.4%	21.6%	42.3	41.9	-0.4	-1.0%	221	3%	21	6%
40	Brüderstr.	9.4%	23.6%	50.6	48.9	-1.7	-3.3%	320	4%	72	20%
59	Ysenburgstr.	25.7%	37.5%	46.2	44.5	-1.8	-3.8%	303	3%	40	11%

Tabelle 6-14: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 70 µg/m³ im Planfall 3

ID	Name	Wirkung		NO ₂ - Jahresmittelwert [µg/m ³]		Minderung		Anwendungshäufigkeit			
						MN 1 & 2					
		Maß- nahme 1 (stündlich)	Maß- nahme 2 (ganztags)	Basis	mit UVM- Maßnahme 1 & 2	absolut [µg/m ³]	relativ	Maßnahme 1 (stündlich)		Maßnahme 2 (ganztags)	
Stunden	Anteil							Tage	Anteil		
54	Schönfelder Str.	11.5%	25.2%	52.0	49.1	-2.9	-5.7%	333	4%	129	35%
41	Fünffensterstr.	18.1%	29.7%	39.9	38.9	-1.0	-2.4%	290	3%	35	10%
46	Holländische Str.	8.1%	26.0%	43.6	42.3	-1.3	-3.1%	313	4%	67	18%
58	Wolfhager Str.	2.5%	18.8%	33.0	33.0	0.0	-0.1%	127	1%	4	1%
42	Frankfurter Str.	5.4%	21.6%	42.3	41.4	-0.9	-2.1%	321	4%	54	15%
40	Brüderstr.	9.4%	23.6%	50.6	48.1	-2.5	-5.0%	319	4%	122	33%
59	Ysenburgstr.	25.7%	37.5%	46.2	43.2	-3.0	-6.6%	272	3%	95	26%

Tabelle 6-15: Aktivierungsraten und Minderungswirkungen bei Variationen des Schwellenwerts zur Auslösung der Maßnahme Schwellenwert 60 µg/m³ im Planfall 3

ID	Name	Wirkung		NO ₂ - Jahresmittelwert [µg/m ³]		Minderung		Anwendungshäufigkeit			
						Maßnahme 1 & 2					
		Maß- nahme 1 (stünd- lich)	Maß- nahme 2 (ganztags)	Basis	mit Maß- nahme 1 & 2	absolut [µg/m ³]	rela- tiv	Maßnahme 1 (stündlich)		Maßnahme 2 (ganztags)	
Stun- den	An- teil							Ta- ge	An- teil		
54	Schönfelder Str.	11.5%	25.2%	52.0	48.3	-3.8	-7.2%	311	4%	182	50%
41	Fünffensterstr.	18.1%	29.7%	39.9	38.0	-1.9	-4.7%	289	3%	95	26%
46	Holländische Str.	8.1%	26.0%	43.6	41.4	-2.2	-5.0%	312	4%	124	34%
58	Wolfhager Str.	2.5%	18.8%	33.0	32.7	-0.3	-0.8%	257	3%	27	7%
42	Frankfurter Str.	5.4%	21.6%	42.3	40.7	-1.6	-3.7%	315	4%	112	31%
40	Brüderstr.	9.4%	23.6%	50.6	47.4	-3.2	-6.4%	324	4%	171	47%
59	Ysenburgstr.	25.7%	37.5%	46.2	42.2	-4.0	-8.7%	351	4%	138	38%

6.3 Potentialabschätzung der CAR2X- Kommunikation auf die NO₂-Belastung

Die Wirkung der CAR2X- Kommunikation auf die NO₂-Belastung wird als Planfall 4 betrachtet.

Für die Potentialabschätzungen wurden nach Absprache folgende Annahmen²² zu den Ausbreitungsfaktoren der CAR2X-Kommunikation zugrunde gelegt:

- *Unter idealen Bedingungen können an isolierten Knotenpunkten mit 80% Ausstattungsrate die Anzahl der Halte um mindestens 40% reduziert werden*
- *Auf Streckenzügen mit teilweise vorhandenen Koordinierungen und kürzeren Wirkungsbereichen sind dagegen eher 10% - 20% Verringerung der Anzahl der Halte realistisch*
- *Mit einer Ausstattungsrate von 15% sollen noch 5% - 10% Reduzierung der Anzahl der Halte möglich sein*

Für die Potentialabschätzung wurde von einer minimalen Ausstattungsrate von 15% ausgegangen. Für die Berechnungen wurde der dazu gehörige Mittelwert aus 5% - 10% gebildet und damit eine Reduzierung von 7,5% angesetzt. LOS 3 und LOS 4 wurden jeweils um die 7,5% Anteile reduziert, wie in der folgenden Tabelle dargestellt ist.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Berechnungen des Nullfalls und der pauschalen Annahme der Wirkung der CAR2X-Kommunikation auf die Verkehrsqualität wurden die Wirkungen der Maßnahmen auf die NO₂-Gesamtbelastung mit dem Screeningmodell IMMIS^{luft} abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 6-16: Ergebnisse der Abschätzung der Wirkung des Planfall 4 auf den NO₂-Jahresmittelwert

ID	Name	Nullfall (NF)				Planfall 4					
		LOS2 (%)	LOS3 (%)	LOS4 (%)	NO ₂ (µg/m ³)	LOS2 (%)	LOS3 (%)	LOS4 (%)	NO ₂ (µg/m ³)	Änderung zu NF (µg/m ³)	
40	Brüderstr.	46.3	32.8	15.9	50.7	50	30.4	14.7	50.5	-0.2	-0.4%
41	Fünffensterstr.	39.6	30.8	24.6	39.9	43.8	28.5	22.7	39.6	-0.3	-0.8%
42	Frankfurter Str.	76.2	14.7	4.1	42.3	77.6	13.6	3.8	42.2	-0.1	-0.2%
46	Holländische Str.	63	19.3	12.7	43.7	65.4	17.9	11.7	43.5	-0.2	-0.5%
54	Schönfelder Str.	47.4	28.9	18.7	52.1	51	26.8	17.3	51.8	-0.3	-0.6%
58	Wolfhager Str.	77.5	14.6	2.9	33	78.8	13.5	2.7	32.9	-0.1	-0.3%
59	Ysenburgstr.	38.3	21.3	35.4	46.3	42.6	19.7	32.7	45.9	-0.4	-0.9%
NO ₂ - NO ₂ -Jahresmittelwert											
Mind. - Minderung											

Die Tabelle zeigt, dass bereits eine geringe Ausstattungsrate eine Wirkung auf den NO₂ Jahresmittelwert hat.

Je höher die Ausstattungsrate mit Car2X- Komponenten ist, desto größer das Potential.

²² (Stadt Kassel - Forschungsprojekt UR: BAN, 2016), Seite 97

Für die Umsetzung kommen, bezogen auf das direkte Umfeld zu den Hotspots, die in der folgenden Tabelle angegebenen LSA in Betracht:

Tabelle 6-17: Übersicht der LSA in den Hotspots

Hotspot	LSA
Brüderstraße	K003, K149
Frankfurter Straße	<i>Ausbau durch VERONIKA</i>
Fünffensterstraße	<i>Ausbau durch VERONIKA</i>
Holländische Straße	K044, K045, K012, K055
Mauerstraße	K052, K016, K009
Schönfelder Straße	K067, K314, K313
Wolfshager Straße	K037, K038, K039
Ysenburgstraße	K001, K057, K074

7. Umsetzungs- und Kostenschätzungen

7.1 Bewertung der jeweiligen Umsetzungszeiträume

Die Umsetzungsdauer für den Aufbau eines UVM wird auf ca. 24 Monate geschätzt. Als Umsetzungshorizont wird daher bis 2024 angegeben.

Die Umsetzungsdauer im Rahmen der hier vorgestellten Car2X-Maßnahme wird auf ca. 3-6 Monate- je nach Aufwand - geschätzt.

7.2 Überschlägliche Ermittlung der jeweiligen Umsetzungskosten der Maßnahmen

Die Kosten wurden in Abstimmung mit der Stadt Kassel und auf Basis der vorhandenen systemtechnischen Besonderheiten ermittelt.

Tabelle 7-1: Kostenschätzung UVM

Maßnahme 1.1			
Einführung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements			
Investitionskosten			1.900.000€
Betriebskosten inkl. Controlling p.a.			282.000€
Maßnahme 1.2			
Einführung einer dynamischen Umweltinformation mit Prognose			
Investitionskosten			90.000€
Betriebskosten inkl. Controlling p.a.			47.500€
Maßnahme 1.3			
Zusätzliche Information mittels App und virtuellen Schildern			
Investitionskosten			293.000€
Betriebskosten inkl. Controlling p.a.			130.000€

Tabelle 7-2: Kostenschätzung C2X

Kosten Road-Side-Unit	6.000€/ Stück
Geräteprogrammierung	15.000€/ Anlage
<i>Die Kosten sind sehr stark von der vorhandenen Infrastruktur abhängig und können für die angegebenen Positionen nur abgeschätzt werden.</i>	
<i>Eine genauere Kostenermittlung muss in der Feinplanung stattfinden</i>	

8. Fazit

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde eine konzeptionelle Grundlage für die Einrichtung eines netzadaptiven und umweltsensitiven Verkehrsmanagements für die Stadt Kassel erarbeitet.

Es wurden Maßnahmenbündel mit den verkehrlichen Schwerpunkten Verstetigung und Steuerung des Verkehrsflusses durch dynamische Anpassung der Lichtsignalsteuerung innerhalb und vor den Koordinierungsstrecken sowie kurzfristigen Ablaufänderungen der Koordinierungen entwickelt. Mit diesen Maßnahmen soll eine Reduzierung der Anzahl der Halte in den betreffenden kritischen Streckenabschnitten erzielt werden, um dadurch eine Reduzierung der Stop+Go-Anteile zu erreichen. Durch eine gezielte Information der Verkehrsteilnehmer bei hohen Luftschadstoffkonzentrationen z.B. über Ausweichmöglichkeiten (z.B. ÖPNV), ausgelöste Steuerstrategien oder Ausweichempfehlungen werden die verkehrlichen Maßnahmen unterstützt.

Ein weiterer Maßnahmenblock stellt die Umweltinformation dar. Dabei besteht die Zielsetzung darin, das Verkehrsverhalten nicht nur hinsichtlich einer räumlichen Verlagerung durch eine andere Routenwahl im Straßennetz zu beeinflussen, sondern auch darin, die vorhandenen Möglichkeiten hinsichtlich eines anderen Verkehrsmittels für Ziele im Nahbereich oder den Berufsverkehr wie zum Beispiel der Umstieg auf das Fahrrad oder den ÖPNV zu nutzen.

Der dritte Maßnahmenblock sieht unter anderem die Information der Verkehrsteilnehmer auf Basis einer Mobilitätsplattform vor, auf der z.B. Echtzeit-Verkehrsinformationen und alternative Mobilitätsangebote zur Verfügung gestellt werden. Ein weiteres Informationsmedium können virtuelle Informationstafeln in Zusammenhang mit einer mobilen Applikation sein.

Durch die direkte Kopplung des Systems an das vorhandene Verkehrsmanagementsystem entsteht ein weit über die Umweltsteuerung in den Hotspot hinausgehender Nutzen. Es werden die Voraussetzungen zur Integration der Umweltbelastung in das Qualitätsmanagement sowie die Nutzung der Ergebnisse in der Planung und dem Betrieb der Verkehrsanlagen geschaffen.

9. Quellenverzeichnis

- FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - RiLSA 2015. (2015). *Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)*. Köln: FGSV Verlag GmbH.
- FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Arbeitsgruppe Straßentwurf. (2014). *Wirkungen von Maßnahmen zur Umweltentlastung. Teil 3: Umweltsensitives Verkehrsmanagement (UVM) FGSV 210/3 Zwischenstand 14.10.2014*. Köln: FGSV Verlag GmbH.
- GAA Hildesheim. (2018). *Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen. Tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse 2017*. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Hildesheim.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (25. 01 2017). *Endbericht - Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung*. Abgerufen am 16. 07 2018 von <https://umwelt.hessen.de/>: https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/vorbelastung_hessen_eb_g16b.pdf
- HMUELV. (2011). *Fortschreibung. Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Kassel. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV)*. .
- INFRAS AG; MK Consulting GmbH; TU Graz. (2017). *Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA Version 3.3*. Umweltbundesamt (Deutschland); Bundesamt für Umwelt (Schweiz); Umweltbundesamt (Österreich); Trafikverket (Schweden); ADEME (Frankreich)M SFT (Norwegen); und JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission).
- IVU Umwelt GmbH. (2011). *Ausbreitungsrechnungen für die Gebiete Mittel- und Nordhessen, Lahn-Dill und den Ballungsraum Kassel. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)*.
- IVU Umwelt GmbH. (2017). *Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung. Unter Mitarbeit von Dr. Rainer Stern, Berlin und Dr. Eberhard Reimer, Berlin*. Auftraggeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV), Veröffentlicht durch den Auftraggeber.
- IVU Umwelt GmbH Handbuch IMMIS. (2017). *IMMIS em/Luft/Lärm Handbuch zur Version 7*. Freiburg.
- Kasseler Verkehrs-Gesellschaft Aktiengesellschaft. (kein Datum). *Interaktiver Liniennetzplan*. Abgerufen am 2018. 07 26 von www.kvg.de: <https://netz.kvg.de/#>
- KRdL, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss. (2003). *Umweltmeteorologie - KFZ-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7*. Düsseldorf.
- R.J.Yamartino, & G.Wiegand. (1986). *Development and Evaluation of Simple Models for the Flow, Turbulence and Pollutant Concentration Fields within an Urban Street Canyon*. *Atmospheric Environment* 20 Nr. 11.
- Siemens AG; "Sitraffic Verkehrszentralen". (2018). Von siemens.de/mobility abgerufen
- Stadt Kassel - Forschungsprojekt UR:BAN. (03 2016). *Das UR:BAN-Projekt - Verkehrssysteme für Kommunen*. Abgerufen am 16. Juli 2018 von Das UR:BAN-

Projekt - Verkehrssysteme für Kommunen: http://www.stadt-kassel.de/aktuelles/meldungen/22231/index_print.html

Stadt Kassel - Straßenverkehrs- und Tiefbauamt - Forschungsprojekt VERONIKA. (kein Datum). *VERONIKA (Forschungsprojekt gefördert mit Mitteln des BMVI)*. Abgerufen am 16. Juli 2018 von http://www.stadt-kassel.de/projekte/verkehr/infos/23461/index_print.html

Universität Kassel - IfV-FG Verkehrstechnik und Transportlogistik; Forschung: VERONIKA. (2018). *Forschung: Universität Kassel - IfV-FG*. Abgerufen am 20. Juli 2018 von www.uni-kassel.de: <https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/ifv/verkehrstechnik-und-transportlogistik/forschung/veronika.html>