Ermittlung von NO_2-Minderungspotenzialen anhand einer verursacherbezogenen Erhebung an den Belastungsschwerpunkten Clevischer Ring, Luxemburger Straße und Aachener Straße in Köln-Weiden (RheinCenter)

Schlussbericht

AVISO

Ingenieurbüro Matthias Rau
Wind . Wasser . Umwelt

neurosoft

Januar 2018

Ermittlung von NO_2-Minderungspotenzialen anhand einer verursacherbezogenen Erhebung an den Belastungsschwerpunkten Clevischer Ring, Luxemburger Straße und Aachener Straße in Köln-Weiden (RheinCenter)

Schlussbericht

(koeln0117)

Bearbeitung:

AVISO GmbH
(Federführung):
Dr.-Ing. Christiane Schneider
Dipl.-Ing. Sabine Turhan
Michael Pelzer

IB Rau
(Immissionsmodellierung):
Dipl.-Ing. Matthias Rau
Fabian Hüftle

Neurosoft GmbH
(Kennzeichenerfassung):
Dipl.-Ing. Winfried Krux
Dr.-Ing. Tobias Volkenhoff
Dipl.-Wirt.-Ing. Kay Weltring

Aachen, Januar 2018

Im Auftrag des Umwelt- und Verbraucherschutzamtes der Stadt Köln

AVISO GmbH

Am Hasselholz 15
52074 Aachen
Fon: +49 (0) 241 / 470358-0
Fax: +49 (0) 241 / 470358-9
E-Mail: info@avisogmbh.de
http://www.avisogmbh.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
Abbildungsverzeichnis III
Tabellenverzeichnis VII
Abkürzungsverzeichnis VIII
1 Aufgabenstellung 1
2 Belastungsschwerpunkte 2
2.1 Clevischer Ring 2
2.2 Luxemburger Straße 3
2.3 Aachener Straße, Köln-Weiden (RheinCenter) 4
3 Kennzeichenerfassung 5
3.1 Erhebung 5
3.2 Aufbereitung der Daten 5
3.3 KBA-Auswertung 9
4 Grundlagen der Emissionsberechnung 17
4.1 NO_X-Emissionsfaktoren 19
5 Emissionen Kfz-Verkehr 21
5.1 Analyse 2017 (Szenario I) und Trendprognose 2020 (Szenario II) 21
5.2 Szenarien-Berechnung (Szenario III, IV, V) 26
5.3 Emissionsergebnisse 27
6 Immissionsberechnungen 31
6.1 Das Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM 31
6.2 Modellvorgaben 31
6.3 Umfang der Berechnungen 32
6.4 Bestimmung statistischer Kenngrößen für NO_2 34
6.5 Ergebnis der Immissionsberechnungen 38
7 Ergänzende Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen 44
7.1 Verkehrsverflüssigung (Szenario VI) 45
7.2 Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung (Szenario VII) 49
7.3 Nächtlich wirkende Maßnahmen (Szenario VIII) 56
7.4 Elektromobilität (Szenario IX) 58
7.5 Vergleich der Minderungswirkungen 60

8 Zusammenfassung Potentialanalyse 63
8.1 Weitere Maßnahmen (Szenario VI – IX) 66
Literatur 71

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1: Belastungsschwerpunkt Clevischer Ring 2

Bild 2.2: Belastungsschwerpunkt Luxemburger Straße 3

Bild 2.3: Belastungsschwerpunkt Köln-Weiden 4

Bild 3.1: Tagesverlauf Standort Luxemburger Straße (VKLS Fahrtrichtung Zentrum = Fahrtrichtung Nordosten, VKLS Fahrtrichtung Sülz = Fahrtrichtung Südwesten) 7

Bild 3.2: Tagesverlauf Standort Clevischer Ring (VKCL Fahrtrichtung Deutz = Fahrtrichtung Süden, VKCL Fahrtrichtung Leverkusen = Fahrtrichtung Norden) 8

Bild 3.3: Tagesverlauf Standort Aachner Straße Köln Weiden (KWEI Fahrtrichtung Frechen = Fahrtrichtung Westen, KWEI Fahrtrichtung Zentrum = Fahrtrichtung Osten) . 9

Bild 3.4: Zusammensetzung der erhobenen Fahrzeugflotte nach Fahrzeugkategorien 10

Bild 3.5: Zusammensetzung der erhobenen Fahrzeugflotte nach Fahrzeugkategorien und Herkunft 11

Bild 3.6: Pkw-Flottenzusammensetzung abgeleitet aus den Daten der Kennzeichenerfassung Sept. 2017 13

Bild 3.7: Flottenzusammensetzung der leichten Nutzfahrzeuge abgeleitet aus den Daten der Kennzeichenerfassung Sept. 2017 14

Bild 3.8: Flottenzusammensetzung der schweren Nutzfahrzeugen abgeleitet aus den Daten der Kennzeichenerfassung Sept. 2017 15

Bild 4.1: Einflussfaktoren auf die spezifischen Emissionsfaktoren 17

Bild 4.2: Flottenzusammensetzung für die betrachteten Belastungsschwerpunkte für die Fahrzeugkategorien Pkw, lNfz, Bus und sNoB (Lkw+Sattelzug), Analysejahr 2017 18

Bild 5.1: NO_X-Jahresemissionen für die Aachener Straße, Köln-Weiden differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten, Analysejahr 2017 und Prognosejahr 2020 23

Bild 5.2: NO_X-Jahresemissionen für den Clevischen Ring differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten, Analysejahr 2017 und Prognosejahr 2020 24

Bild 5.3: NO_X-Jahresemissionen für die Luxemburger Straße differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten, Analysejahr 2017 und Prognosejahr 2020 25

Bild 5.4: NO_X-Jahresemissionen für die Aachener Straße in Köln-Weiden differenziert nach Fahrzeugkategorien, Analysejahr 2017, Prognosejahr 2020 und Maßnahmen 28

Bild 5.5: NO_X-Jahresemissionen für den Clevischen Ring differenziert nach Fahrzeugkategorien, Analysejahr 2017, Prognosejahr 2020 und Maßnahmen 29

Bild 5.6: NO_X-Jahresemissionen für die Luxemburger Straße differenziert nach Fahrzeugkategorien, Analysejahr 2017, Prognosejahr 2020 und Maßnahmen 30

Bild 6.1: Untersuchungsgebiet Aachener Straße in Köln Weiden (KWEI): Katasterplan mit Darstellung der Messstelle und Umriss des MISKAM-Rechengebiets. 33

Bild 6.2: Untersuchungsgebiet Clevischer Ring (VKCL): Katasterplan mit Darstellung der Messstelle (rote Markierung) und Umriss des MISKAM-Rechengebiets 33

Bild 6.3: Untersuchungsgebiet Luxemburger Straße (VKLS): Katasterplan mit Darstellung der Messstelle und Umriss des MISKAM-Rechengebiets 34

Bild 6.4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Station Köln-Rodenkirchen 2010 – 2016 (Quelle: LANUV NRW) 36

Bild 6.5: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario I (Analysefall 2017) 40

Bild 6.6: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Ring in ca. 1,5 m Höhe über Grund, Szenario I (Analysefall 2017) 40

Bild 6.7: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca. 1,5 m Höhe über Grund, Szenario I (Analysefall 2017) 41

Bild 7.1: Streckennetz Köln, auf dem unter www.offenedaten-koeln.de Echtzeit-Daten zum Verkehrsablauf vorliegen 46

Bild 7.2: Radverkehrsgutachten für die Kölner Innenstadt, mit Kennzeichnung der Vorrangstraßen des MIV, der Vorrangstraßen für den Rad- und Fußverkehr und der sogenannten Einfallstore für den Radverkehr in die Kölner Innenstadt, Quelle: Stadt Köln 2017 55

Bild 7.3: Mittlere Tages- und Wochengänge der NO_2-Konzentrationen 2016 am Clevischen Ring (VKCL) und im städtischen Hintergrund in Rodenkirchen (RODE) sowie Annahmen zur Reduktion durch nächtliche LSA-Abschaltung; Datenquelle: LANUV NRW, OpenKontiLUQS 57

Bild 8.1: Berechnete NO_2-Immissionen in Messhöhe über Grund für Szenario I (Analyse 2017), Szenario III (erforderliche Verkehrsminderung zur Grenzwerteinhaltung 2017), Szenario IV (blaue Umweltzone 2017) und Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017) und berechnete Minderung gegenüber Szenario I 65

Bild 8.2: Berechnete NO_2-Immissionen in Messhöhe über Grund für Szenario II (Trendprognose 2020, Szenario III (erforderliche Verkehrsminderung zur Grenzwerteinhaltung 2020) Szenario IV (blaue Umweltzone 2020) und Szenario V

(Dieselverkehrsbeschränkung 2020) und berechnete Minderung Szenario II (Trend 2020) 65

Bild 0.1: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario II (Trendprognose 2020) 77

Bild 0.2: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Rring in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario II (Trendprognose 2020).....78

Bild 0.3: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario II (Trendprognose 2020) 78

Bild 0.4: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario IV (blaue Umweltzoen 2017) 79

Bild 0.5: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Rring in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario IV (blaue Umweltzoen 2017) 80

Bild 0.6: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario IV (blaue Umweltzone 2017).....80

Bild 0.7: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017) 81

Bild 0.8: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Rring in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017).....82

Bild 0.9: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017) 82

Bild 0.10: Messstrecke am Clevischen Ring in Köln: Mittlere sekündliche Geschwindigkeit in km/h 85

Bild 0.11: Fahrprofile der Messfahrten (Variante 1), oben: Fahrtrichtung Norden, unten: Fahrtrichtung Süden; die durchgezogene schwarze Linie markiert an der Kreuzung Mülheimer Brücke – Clevischer Ring in Fahrtrichtung Norden den Beginn und in Fahrtrichtung Süden das Ende des auszuwertenden Bereichs, die gestrichelte schwarze Linie markiert entsprechend in Fahrtrichtung Norden das Ende und in Fahrtrichtung Süden den Beginn des auszuwertenden Bereichs.....86

Bild 0.12 Fahrprofile der Messfahrten (Variante 2), oben: Fahrtrichtung Norden, unten: Fahrtrichtung Süden (bezogen auf den Clevischen Ring); die durchgezogene schwarze Linie markiert an der Kreuzung Mülheimer Brücke – Clevischer Ring in Fahrtrichtung Norden den Beginn und in Fahrtrichtung Süden das Ende des auszuwertenden Bereichs, die gestrichelte schwarze Linie markiert entsprechend in Fahrtrichtung Norden das Ende und in Fahrtrichtung Süden den Beginn des auszuwertenden Bereichs 87

Bild 0.13: Tagesgang der Reisegeschwindigkeit für den auszuwertenden Abschnitt pro Variante und Richtung, abgeleitet aus den Messfahrten; zwischen den gestrichelten schwarzen Linien liegen jeweils die Morgen- und die Nachmittagsspitze 88

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Ausgabedatensatz Kennzeichenabgleich 10

Tab. 4.1: NO_X-Abgas-Emissionsfaktoren für das Analysejahr 2017 für die drei Belastungsschwerpunkte 20

Tab. 6.1: Gesamtstädtische Hintergrundbelastung – Jahresmittelwerte für NO_2 37

Tab. 6.2: Vergleich der für die Analyse 2017 (Szenario I) berechneten NO_2-Jahresmittelwerte an den Luftmessstationen mit den gemessenen Werten 2016. 39

Tab. 6.3: Berechnete NO_2-Jahresmittelwerte an den Standorten der Luftmessstationen für die Szenarien I bis V 42

Tab. 7.1: Anteile der Fahrzeuge verschiedener Nutzergruppen an den NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs in Köln, Basisjahr: 2017 59

Tab. 7.2: Vergleich der Maßnahmen, deren Minderungswirkungen auf die verkehrsbedingten NO_X-Emissionen durch Literaturrecherche geschätzt wurden 61

Tab. 7.3: Vergleich der nächtlich wirkenden Maßnahmen, deren Minderungswirkungen durch Literaturrecherche geschätzt wurden 62

Tab. 8.1: Berechnete NO_2-Immissionsgesamtbelastungen für die drei Belastungsschwerpunkte, Analyse 2017 (Szenario I) und Trendprognose 2020 (Szenario II) 63

Tab. 8.2: Abschätzung der emissions- und immissionsseitigen Minderungspotenziale der Maßnahme Elektromobilität Linienbusse bezogen auf den Jahresmittelwert 2017 67

Tab. 8.3: Abschätzung der emissions- und immissionsseitigen NO_2-Minderungspotenziale der in Kap. 7 betrachteten **kurzfristig** umsetzbaren Maßnahmen bezogen auf den Jahresmittelwert 2017 (Hinweis: die ausgewiesenen NO_2-Minderungspotenziale sind nicht addierbar, da diese teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen) 68

Tab. 8.4: Abschätzung der emissions- und immissionsseitigen NO_2-Minderungspotenziale der in Kap. 7 betrachteten **mittel- bis langfristig** umsetzbaren Maßnahmen bezogen auf den Jahresmittelwert 2017 (Hinweis: die ausgewiesenen NO_2-Minderungspotenziale sind nicht addierbar, da diese teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen) 68

Tab. 0.1: Level of Service in Abhängigkeit von der Reisegeschwindigkeit für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen mit Tempolimit 50 km/h nach HBEFA 89

Tab. 0.2: Störungsgrad (level of service, LOS) pro Richtung und Zeitbereich für den auszuwertenden Abschnitt, abgeleitet aus den mittleren Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten und den Definitionen nach HBEFA (Tab. 0.1) 89

Abkürzungsverzeichnis

BAB	Bundesautobahn
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzgesetz
blUZ	Blaue Umweltzone
B+R	Bike and Ride
DGM	Digitales Geländemodell
DWD	Deutscher Wetter Dienst
GAVe	Grazer Adaptive Verkehrssteuerung
GB	Gesamtbelastung
GPS	Global Positioning System
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
JWM	Jahresmittelwert
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KVB	Kölner Verkehrs-Betriebe AG
KEP-Dienste	Kurier-Espress-Paket-Dienste
KWEI	Köln Weiden
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LOS	Level of Service
LKW	Lastkraftwagen > 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht
lNfz	leichte Nutzfahrzeuge bis zu 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht
LRP	Luftreinhalteplan
LSA	Lichtsignalanlage
LUBW	Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NO_2	Stickstoffoxid
NO_X	Stickstoffoxide (Summe aus NO und NO_2, ausgewiesen als NO_2)
ODB2	On-Board Diagnose Schnittstelle Version 2

ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PHEM	Passanger Car and Heavy Duty Emissoin Model
P+R	Park and Ride
PM10	Particulate Matter 10 / Mikropartikel 10
Pkw	Personenkraftwagen
RPA	relative positive acceleration
sNoB	schwere Nutzfahrzeuge >3,5 t zul. Gesamtgewicht, ohne Busse
SV	Schwerverkehr
T30 / T40 / T50	Tempolimit 30/ 40 / 50
UV-Strahlung	Ultra-Violett-Strahlung
v	Geschwindigkeit
VEP	Verkehrsentwicklungsplan
VKCL	Köln Clevischer Rung
VKLS	Köln Luxemburger Straße
VMind.	Verkehrsminderung
ZFZR	Zentrales Fahrzeugregister

1 Aufgabenstellung

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, die Wirksamkeit von Maßnahmen in Bezug auf die Stickstoffdioxidbelastung an drei ausgewählten Belastungsschwerpunkten in Köln zu ermitteln. Die Ausgangssituation (Basisjahr 2017) und die zu erwartende Trendentwicklung der Verkehrs- und Schadstoffbelastung in den nächsten drei Jahren (bis 2020) bildet dabei die Basis zur Wirkungsermittlung.

NO_2-Minderungspotenziale wurden für die folgenden Szenarien mittels detaillierter Emissions- und Immissionsberechnungen untersucht:

- Szenario I: Analyse 2017 beschreibt die Ausgangssituation 2017.
- Szenario II: Trendprognose 2020 beschreibt die zu erwartende Trendentwicklung der Verkehrs- und Schadstoffbelastung in den nächsten drei Jahren (bis 2020). Die Trendprognose umfasst alle Entwicklungen, soweit sie aus heutiger Sicht absehbar eintreffen werden.
- Szenario III: Ermittlung der erforderlichen Verkehrsminderung zur Einhaltung des Grenzwertes für den NO_2-Jahresmittelwert für die Jahre 2017 und 2020.
- Szenario IV: Maßnahme blaue Umweltzone im Jahr 2017.
- Szenario V: Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung im Jahr 2017.

Ergänzend wurden Abschätzungen zum Wirkungspotenzial für ausgewählte Maßnahmen der folgenden Maßnahmenkategorien durchgeführt:

- Szenario VI: Verkehrsverflüssigung
- Szenario VII: Verkehrsverlagerung / Verkehrsvermeidung
- Szenario VIII: Nächtlich wirkende Maßnahmen
- Szenario IX: Elektromobilität

Die Berechnungen wurden für die drei Standorte **Clevischen Ring** (MVKCL, kontinuierliche Messung) in Köln-Mülheim, **Luxemburger Straße** (VKLS, Messung mit Passivsammler) in Köln-Lindenthal und **Aachener Straße** (KWEI, Messung mit Passivsammler) in Köln-Weiden (RheinCenter) durchgeführt. Die drei betrachteten Standorte gehören zum offiziellen Messnetz NRW, das vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) betrieben wird.

Zur Ermittlung der Flottenzusammensetzung wurden an den drei Standorten ergänzend eine Kennzeichenerfassung und zur Erfassung der Verkehrssituation Messfahrten am Clevischen Ring durchgeführt.

2 Belastungsschwerpunkte

2.1 Clevischer Ring

Der Messcontainer am Belastungsschwerpunkt Clevischer Ring steht im Stadtteil Mülheim neben der Fahrbahn in Fahrtrichtung Süden auf einem Parkstreifen. Hier laufen die Bundesstraßen 8 und 51 zusammen. Der Clevische Ring ist im Bereich der Messstation fünfspurig. Die Richtungsfahrbahnen sind durch einen Grünstreifen voneinander getrennt. Auf der gegenüberliegenden Seite der Messstation befindet sich noch eine zweigleisige oberirdische Teilstrecke der Stadtbahn. An der LANUV-Messstation (VKCL) wurde im Jahr 2016 ein Jahresmittelwert für NO_2 von 63 µg/m³ gemessen. Die Verkehrsbelastung im Bereich der Messstation liegt bei 45.900 Kfz/24h (6,3% Schwerverkehr (SV)).

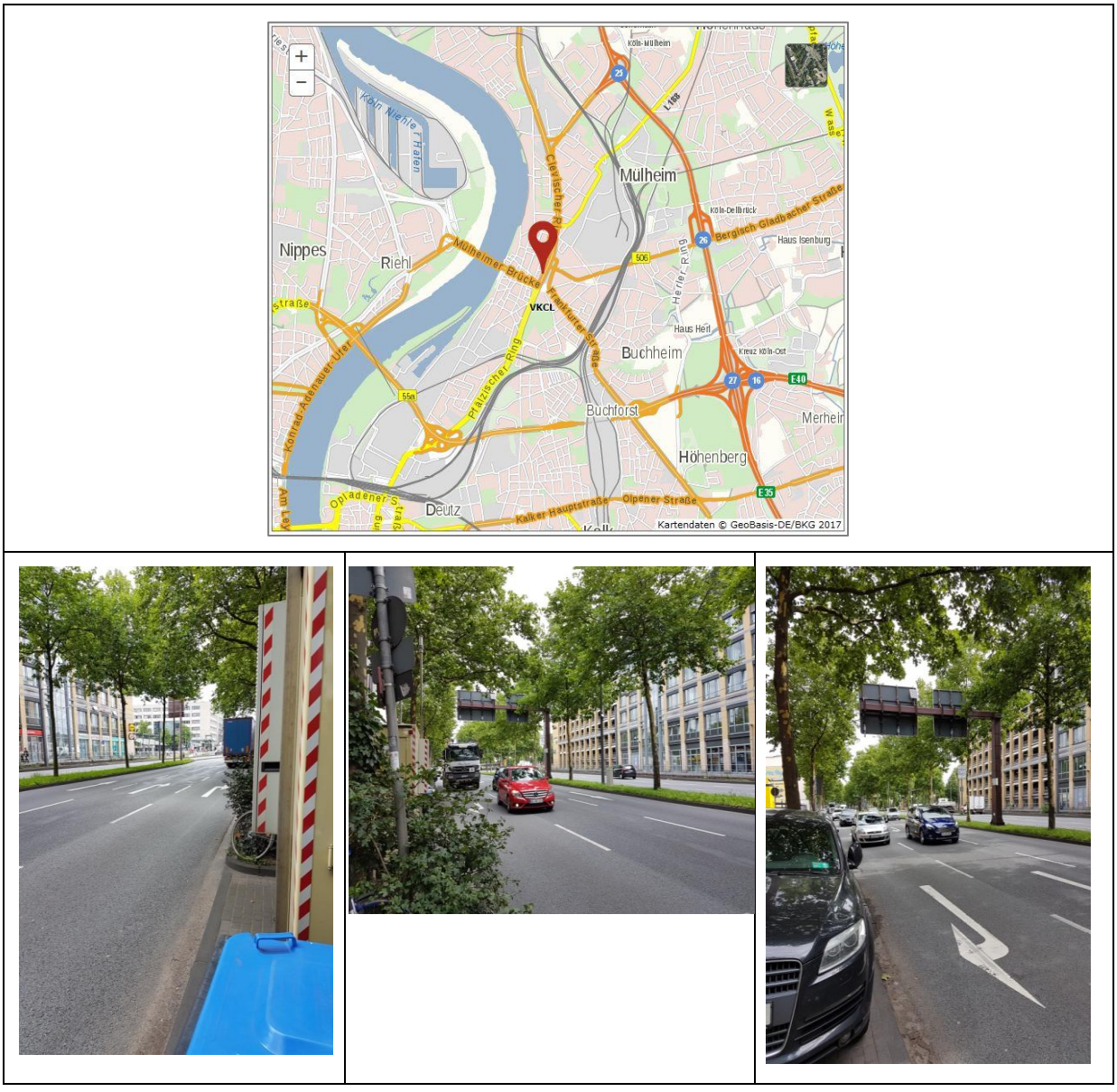


Bild 2.1: Belastungsschwerpunkt Clevischer Ring

2.2 Luxemburger Straße

An der Luxemburger Straße (B 265) befindet sich der NO_2-Passivsammler an einem Mast vor Haus Nr. 181-183. Die Luxemburger Straße ist in diesem Abschnitt vierspurig. Zwischen den beiden Richtungsfahrbahnen verläuft eine Stadtbahnlinie innerhalb eines Grünstreifens.

An der LANUV-Messstation (VKLS) wurde im Jahr 2016 ein Jahresmittelwert für NO_2 von 49 µg/m³ gemessen. Die Verkehrsbelastung liegt im Bereich der Messstation bei 30.250 Kfz/24h (2,2% SV).

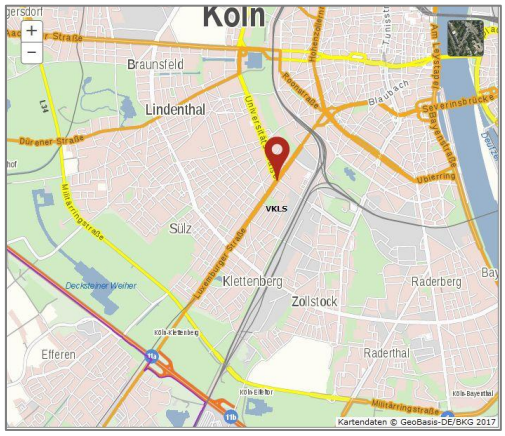


Bild 2.2: Belastungsschwerpunkt Luxemburger Straße

2.3 Aachener Straße, Köln-Weiden (RheinCenter)

Der NO_2-Passivsammler am Belastungsschwerpunkt Aachener Straße Köln-Weiden ist an einer Laterne direkt vor dem RheinCenter befestigt. Die Aachener Straße (L 361) ist eine mehrspurige von West nach Ost verlaufende Straße, deren Richtungsfahrbahnen jeweils durch Straßenbahnschienen von den dazwischen verlaufenden Busspuren (in Fahrtrichtung Westen) getrennt sind.

An der LANUV-Messstation (KWEI) wurde im Jahr 2016 ein Jahresmittelwert für NO_2 von 53 µg/m³ gemessen. Die Verkehrsbelastung liegt im Bereich der Messstation bei 21.000 Kfz/24h (5,5% SV).

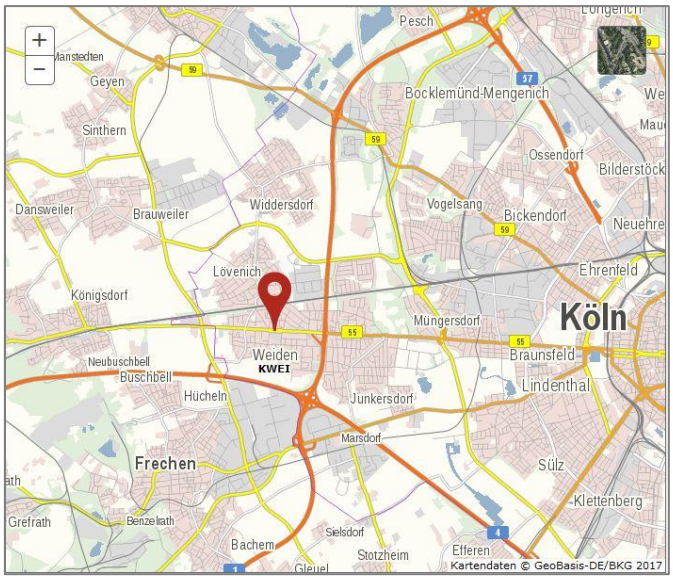


Bild 2.3: Belastungsschwerpunkt Köln-Weiden

3 Kennzeichenerfassung

3.1 Erhebung

Zur Ermittlung einer standortspezifischen Fahrzeugflottenzusammensetzung war die Erhebung der Kennzeichen an den drei zu betrachtenden Streckenabschnitten ein wichtiger Aufgabenteil der vorliegenden Untersuchung. Die Durchführung erfolgte mittels dem Kamerasystem NeuroCar, dass in der Lage ist, Fahrzeuge zu identifizieren sowie die Kennzeichen, den Zulassungsbezirk und die Nationalität zu erfassen. Alle 3 Standorte wurden nach Fahrtrichtungen getrennt aufgenommen.

Die Erfassung der Kennzeichen wurde von der Neurosoft GmbH durchgeführt und erfolgte im Zeitraum 26.09. – 28.09.2017. Es wurde vorab überprüft und sichergestellt, dass keine großen Messen, Veranstaltungen oder größere Baustellen an den Messtagen zu untypischen Verkehrsverhältnissen führen könnten. Auch während der Messungen wurden keine besonderen Ereignisse (z.B. Unfälle) im Nahbereich der Messungen beobachtet. Insgesamt wurden pro Standort 24 durchgehende Stunden ausgewertet.

Die Kennzeichenerfassung wurde im Hinblick auf die Einhaltung der Datenschutzbestimmungen in enger Abstimmung mit der zuständigen Behörde der Stadt Köln durchgeführt und von dieser auch überprüft.

Die eingesetzte Technik, die Vorbereitungen der Erhebung und die Installation der Kameras sowie die Auswertungen und Ergebnisse der Kennzeichenerfassung sind in dem im Anhang enthaltenen Bericht der Neurosoft GmbH dokumentiert.

3.2 Aufbereitung der Daten

Die an den Messstandorten mittels Videokameras erfassten Kennzeichen der Fahrzeuge wurden zunächst auf lokalen Steuereinheiten gespeichert. Folgende Parameter wurden dabei für die erfassten Fahrzeuge hinterlegt: Zeitstempel, Standort, Nationalität, Orts- und Länderkennung des Fahrzeugs sowie das Kennzeichen. Anhand dieser Parameter konnten die Kennzeichendaten für die weitere Verarbeitung durch das Kraftfahrt-Bundesamt vorbereitet werden. Darunter fallen die Zuordnung des Kennzeichens zu einem Standort, einer Fahrtrichtung sowie einem Zeitstempel.

Kategorisiert wurden die erfassten Kennzeichen nach folgenden Herkunftsgruppen:

- Kölner Kennzeichen
- Inländische Kennzeichen
- Ausländische Kennzeichen

Bild 3.1 bis Bild 3.3 zeigen für die drei Standorte die erfasste Anzahl von Fahrzeugen im Tagesverlauf, differenziert nach Kölner Kennzeichen, auswärtigen deutschen Kennzeichen und ausländischen Kennzeichen. Der Anteil der ausländischen Fahrzeuge ist gering und liegt bei 1-2% bei allen drei Standorten.

Zusätzlich ist in den Darstellungen die Differenz der Verkehrsstärke der beiden Fahrtrichtungen pro Standort mit ausgewiesen.

Alle drei Standorte weisen jeweils eine Vormittags- und Nachmittagsspitze auf. Für die Standorte Luxemburger Straße und Köln Weiden ist eine asynchrone Verteilung der Fahrtrichtungen zu erkennen. In der Morgenspitze überwiegen die Fahrzeuge in Fahrtrichtung Köln, in der Nachmittags-/ Abendspitze die Fahrzeuge in entgegengesetzte Fahrtrichtung. Für den Standort Clevischer Ring zeigt sich, dass die Belastung zu den Spitzenstunden in Fahrtrichtung Köln jeweils überwiegt.

Zusätzlich wurden ergänzende Auswertungen zur Gesamtanzahl der häufig auftretenden Ortskennzeichen aus den Daten erarbeitet (vgl. Anhang). Hieraus lässt sich ableiten, dass der Großteil der Fahrzeuge aus Köln und dem näheren Umland stammt.

Im Anschluss an die Plausibilisierung und Erstellung des Gesamtdatensatzes wurden die Daten für den Abgleich der Erhebungsdaten mit dem tagesaktuellen Datenbestand des zentralen Fahrzeugregisters (ZFZR) aufbereitet und an das Kraftfahrtbundesamt (KBA) übergeben.

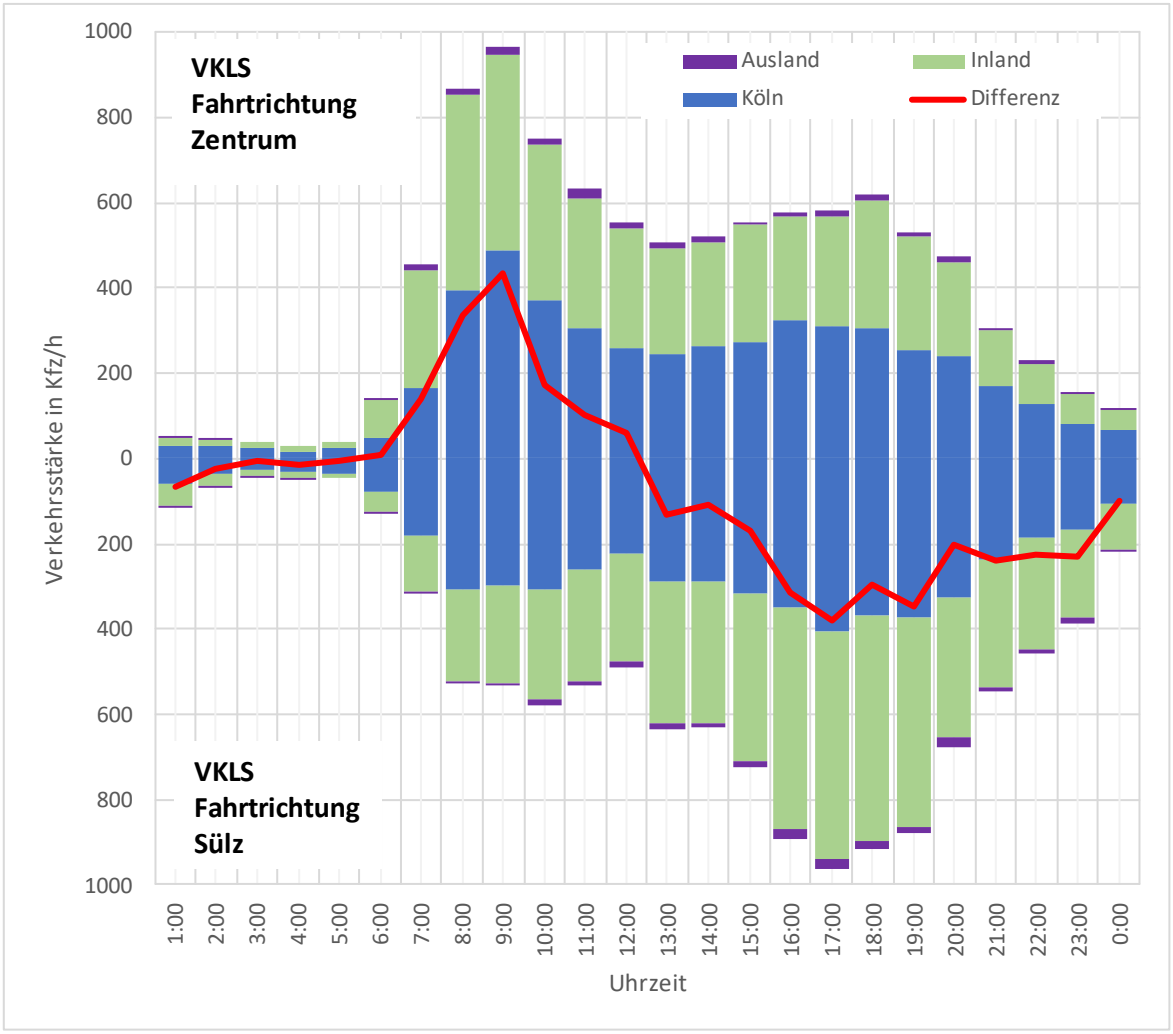


Bild 3.1: Tagesverlauf Standort Luxemburger Straße (VKLS Fahrtrichtung Zentrum = Fahrtrichtung Nordosten, VKLS Fahrtrichtung Sülz = Fahrtrichtung Südwesten)

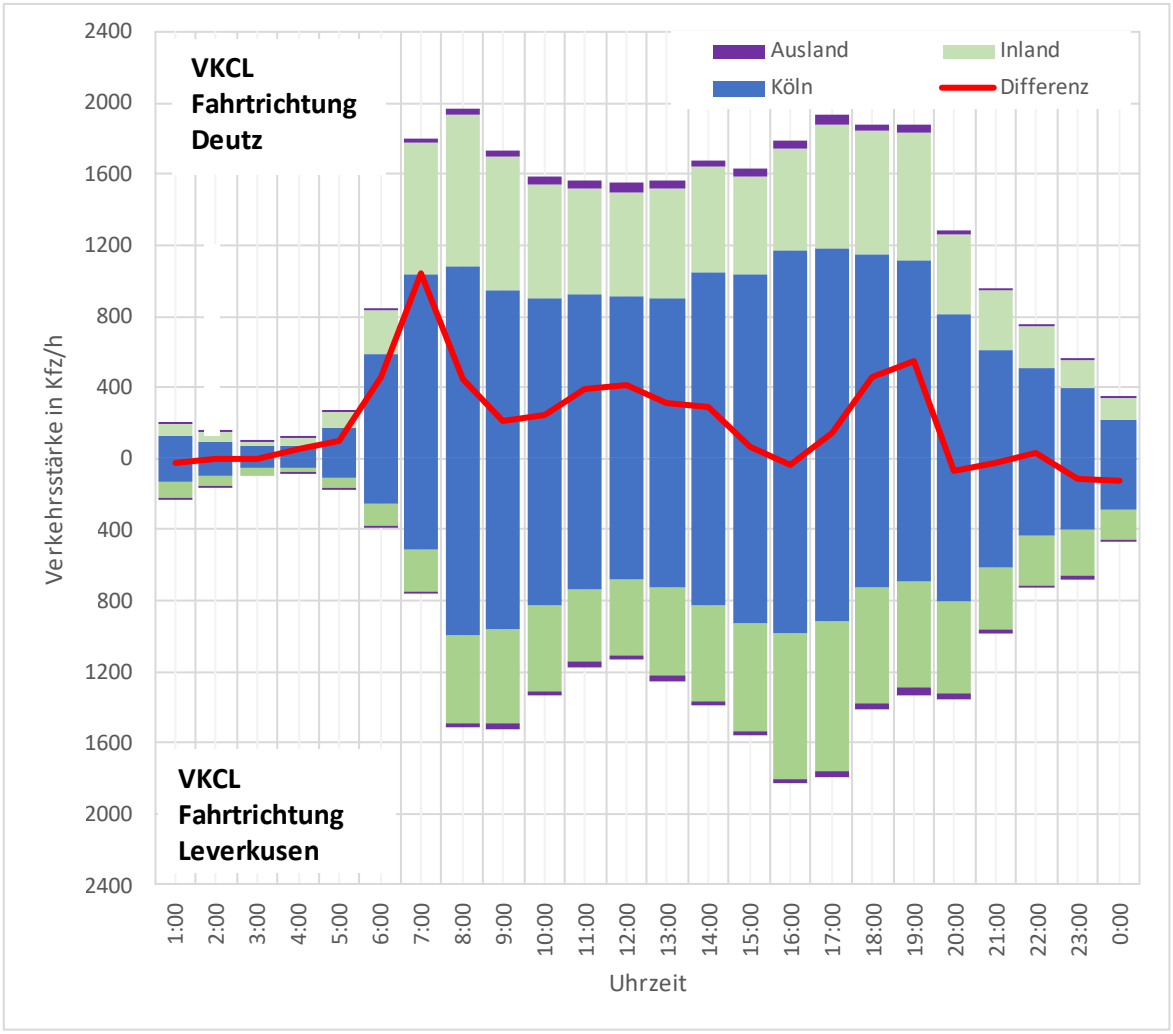


Bild 3.2: Tagesverlauf Standort Clevischer Ring (VKCL Fahrtrichtung Deutz = Fahrtrichtung Süden, VKCL Fahrtrichtung Leverkusen = Fahrtrichtung Norden)

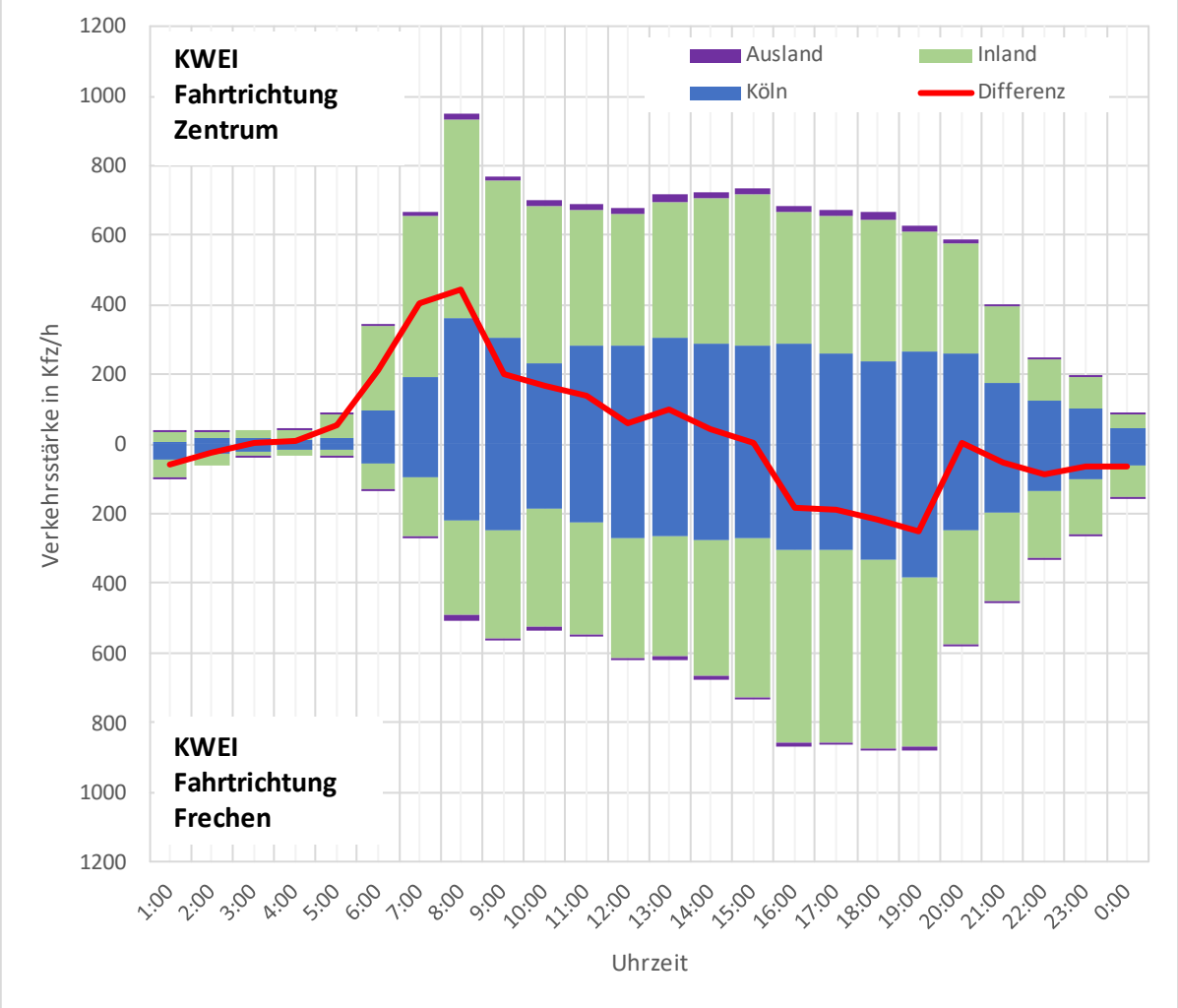


Bild 3.3: Tagesverlauf Standort Aachner Straße Köln Weiden (KWEI Fahrtrichtung Frechen = Fahrtrichtung Westen, KWEI Fahrtrichtung Zentrum = Fahrtrichtung Osten)

3.3 KBA-Auswertung

Insgesamt wurden 94.734 Kennzeichendatensätze erhoben, deren Daten für den Abgleich mit dem zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) an das Kraftfahrtbundesamt (KBA) übergeben wurden. Das KBA führte mit diesen Datensätzen einen Abgleich mit den tagesaktuellen Daten des ZFZR durch. Im Ergebnis liegen anonymisierte Einzeldatensätze mit technischen Angaben gemäß der Datensatzbeschreibung, die in Tab. 3.1 aufgeführt ist, vor.

Aus den bearbeiteten Daten ergab sich eine Rücklaufquote der deutschen Fahrzeuge vom KBA von ca. 98,9%. Insgesamt konnten nur 1.055 Fahrzeuge nicht zugeordnet werden, was auf nicht korrekt gelesene oder zwischen der Erhebung und Abfrage abgemeldete Kennzeichen zurückgeführt werden kann.

Tab. 3.1: Ausgabedatensatz Kennzeichenabgleich

Lfd. Nr.	Feldname	Feldinhalt / Bemerkung
001	AKTZ	Aktenzeichen / Ordnungsbegriff (Übernahme 1:1 aus dem Anfragesatz)
002	FZKL 10	Fahrzeugklasse-Schlüssel-Nr.
003	AAUFB10	Art des Aufbau-Schlüssel-Nr.
004	EMIKL	Emissions-Schlüssel-Nr.
005	MSEMI	Angabe zu steuer- oder emissionsrelevanten Merkmalen *)
006	HUB	Hubraum in cm^3
007	KW4	Motorleistung in kW
008	CO2	CO2 in g/km (nur gefüllt wenn vorhanden)
009	KREN	Code zur Kraftstoff- und Energiequelle
010	TGM	technisch zulässige Gesamtmasse in kg
011	J1ZUL	Jahr der ersten Zulassung (JJJJ)
012	SE	Satzendezeichen (CR/LF)

*) hier kann eingetragen sein, ob das Fahrzeuge mit einem Partikelfilter ausgerüstet ist oder nachgerüstet w urde

Die erfassten Fahrzeuge der Fahrzeugklassen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge <3,5 t zul. GG (lNfz), schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB) und Busse wurden in geeigneter Weise den Fahrzeugschichten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 3.3) zugeordnet. Dabei erfolgte die Zuordnung zu den Emissionsklassen auf Basis der Emissionsschlüsselnummern. Lediglich ein sehr geringer Teil von etwa 1% der Rückläufer konnte (z. B. aufgrund fehlender Angabe zur Emissionsklasse) nicht eindeutig zugeordnet werden.

In Bild 3.4 ist die Verteilung der KBA-Daten für die drei Hotspots differenziert nach den Fahrzeugkategorien Pkw, lNfz, sNob und Busse aufgeführt. Der Anteil der Pkw an den erfassten Fahrzeugen liegt zwischen 86% und 91%, der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge zwischen 7% und 8% und der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge zwischen 1,5% und 5,1%. Der Anteil der erfassten Busse ist mit 0,1%-0,7% relativ gering, wobei zu beachten ist, dass am Standort Köln-Weiden die Linienbusse auf einer separaten Busspur geführt werden und diese bei der Kennzeichenerfassung nicht erfasst wurden. Daten zur Zusammensetzung der Linienbusflotte wurden von der KVB im Rahmen der Fortschreibung Luftreinhalteplans dem LANUV zur Verfügung gestellt und diese konnten auch hier genutzt werden.

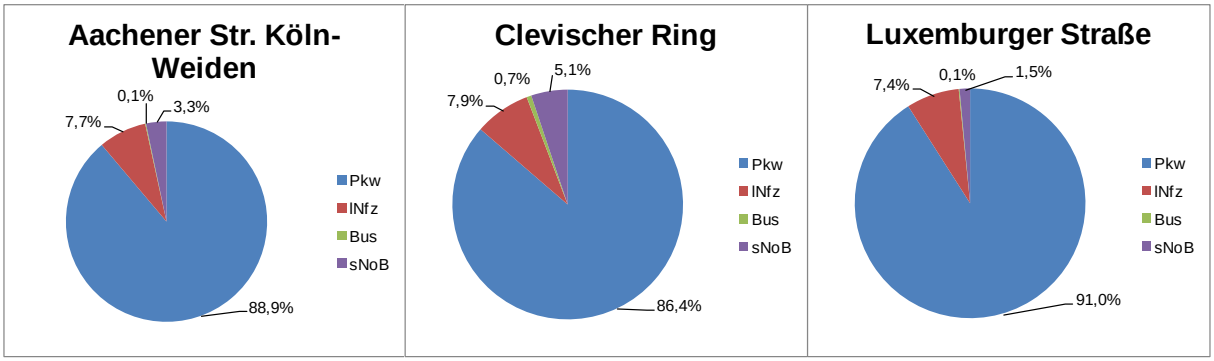


Bild 3.4: Zusammensetzung der erhobenen Fahrzeugflotte nach Fahrzeugkategorien

Bild 3.5 zeigt pro Fahrzeugkategorie die Aufteilung der erfassten Kennzeichen nach Kölner und auswärtigen Kennzeichen.

Für die Aachener Straße in Köln-Weiden liegt der Anteil der auswärtigen Fahrzeuge für alle Fahrzeugkategorien über 50%, bei den schweren Nutzfahrzeugen mit ca. 76% am höchsten. Am Clevischen Ring liegt dagegen der Anteil der auswärtigen Fahrzeuge mit 37% bei den Pkw deutlich niedriger, während auch hier für die schweren Nutzfahrzeuge mit ca. 68% der Anteil der auswärtigen Kennzeichen überwiegt. Für die Luxemburger Straße ergibt sich ein Anteil der Fahrzeuge mit auswärtigem Kennzeichen für Pkw von ca. 52% und für die sNoB von ca. 66%.

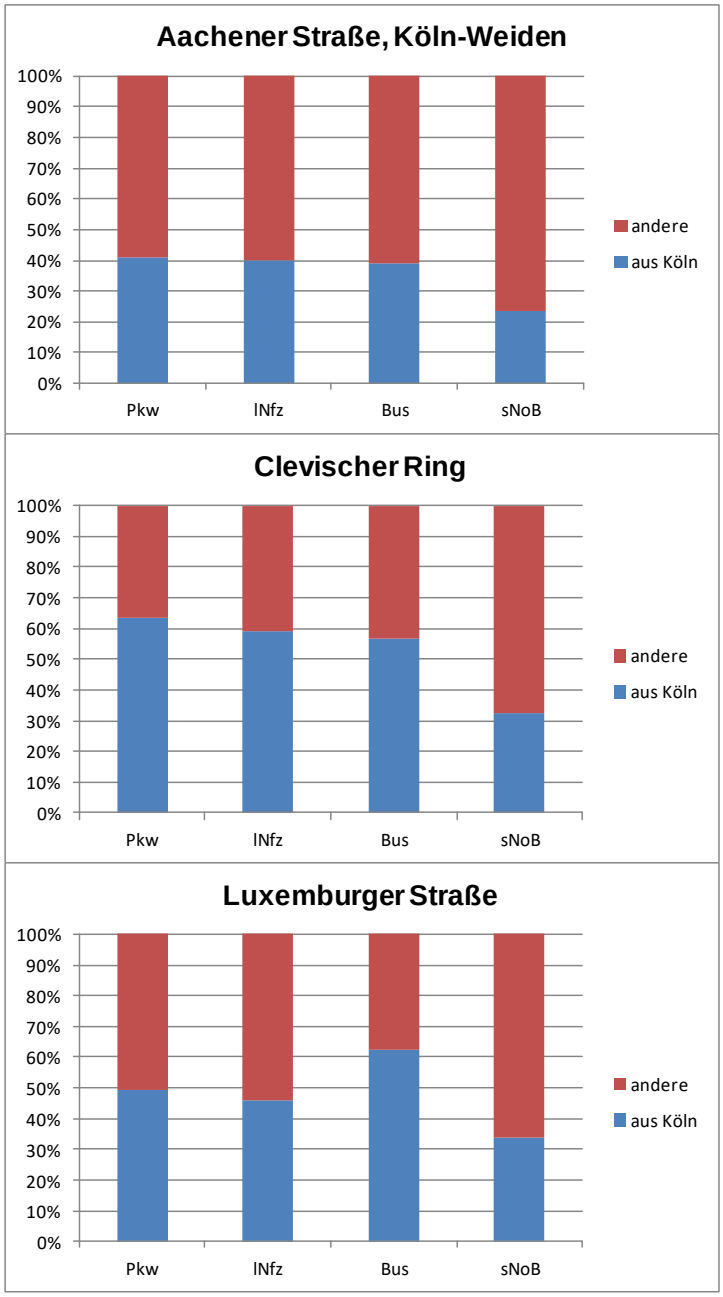


Bild 3.5: Zusammensetzung der erhobenen Fahrzeugflotte nach Fahrzeugkategorien und Herkunft

Bild 3.6 bis Bild 3.8 zeigen die aus den KBA-Daten der erfassten Kennzeichen über die Emissionsklassen abgeleiteten Flottenzusammensetzungen nach Euronorm-Stufen bzw. Emissionskonzepten (Euro 1 bis Euro 6 für Pkw und lNfz, Euro I bis Euro VI für sNoB) für die drei Standorte. Auch hierbei wird nach Kölner Kennzeichen und auswärtigen Kennzeichen unterschieden.

In Bild 3.6 sind die Pkw-Flottenzusammensetzungen dargestellt. Es erfüllt bereits ein deutlicher Anteil der Pkw-Flotte die Euro 6 Norm. Für die Otto-Pkw liegt der Euro 6-Anteil zwischen 12% und 15% und für die Diesel-Pkw zwischen 13% und 18%. Der Anteil der Diesel-Pkw insgesamt liegt zwischen 38% und 48%. Auffallend ist, dass der Diesel-Anteil bei den auswärtigen Kennzeichen stets höher ist als bei den Kölnern.

Im gemeldeten Pkw-Bestand zum Stand 01.01.2017 /AVISO 2017d/, der aus den Untersuchungen für das LANUV vorliegt, liegt der Anteil der Pkw-Diesel für Köln bei 34% und für die angrenzenden Kreise zwischen 30% und 31% bezogen auf den gesamten Pkw-Bestand. D.h. im gemeldeten Bestand liegt der Anteil der Diesel-Pkw in Köln höher als in den umliegenden Zulassungsbezirken und insgesamt liegt der Anteil der Diesel-Pkw im gemeldeten Bestand stets niedriger als in der Flottenzusammensetzung auf der Straße.

Trotz grüner Umweltzone wurden auch Diesel-Pkw bei der Kennzeichenerfassung erfasst, die eigentlich keine grüne Plakette bekommen (Diesel < Euro 4), sofern diese nicht mit Partikelfiltern entsprechend nachgerüstet wurden. Der Anteil der Diesel-Pkw < Euro 4 liegt in den erfassten Pkw-Flotten zwischen 2,7% und 3,7%.

Im Rahmen der Untersuchungen für die Fortschreibung des LRP Köln für das LANUV war ausgehend vom gemeldeten Bestand 01.01.2016 für den Zulassungsbezirk Köln die Flottenzusammensetzung auf der Straße (der sogenannte dynamischer Bestand) abgeleitet worden. Danach lag zum Stand 01.01.2016 (ohne Berücksichtigung der grünen Umweltzone) der Anteil der Diesel-Pkw < Euro 4 im dynamischen Bestand bei 4,4%, d.h. etwas höher als bei der Kennzeichenerfassung im September 2017.

Bei den Daten des KBA zu den erfassten Kennzeichen waren auch Informationen zu einer Partikelfilternachrüstung angegeben (vgl. Tab. 3.1), aber dieses Merkmal ist kein Pflichtfeld und muss daher nicht gefüllt sein. Daher ist es nicht möglich aus diesen Informationen den vollständigen Anteil mit Partikelfilter ausgerüsteter bzw. nachgerüsteter Fahrzeuge abzuleiten. Es handelt sich dabei überwiegend um Diesel Euro 3. Mindestens 30%-40% davon dürfen aufgrund einer Partikelfilternachrüstung (gemäß der KBA-Daten) in der grünen Umweltzone fahren. Es ist davon auszugehen, dass dieser Anteil noch höher liegt, so zeigen Auswertungen für das Ruhrgebiet /AVISO 2014/ oder Ballungsraum Stuttgart /LUBW 2015/ bereits im Jahr 2013 einen entsprechenden Anteil von 30% bzw. 50%. Es ist davon auszugehen, dass seit 2013 vor allem die Diesel-Pkw Euro 3 ohne Partikelfilter aus dem Bestand gelöscht wurden und daher der Anteil mit Partikelfilter tendenziell größer geworden ist.

Außerdem bestehen noch die Möglichkeiten, dass diese Fahrzeuge (Diesel < Euro 4) über eine Ausnahmegenehmigung verfügen oder unberechtigt in der grünen Umweltzone fahren.

Die Pkw-Flottenzusammensetzungen wurden so wie erfasst zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für das Analysejahr 2017 verwendet.

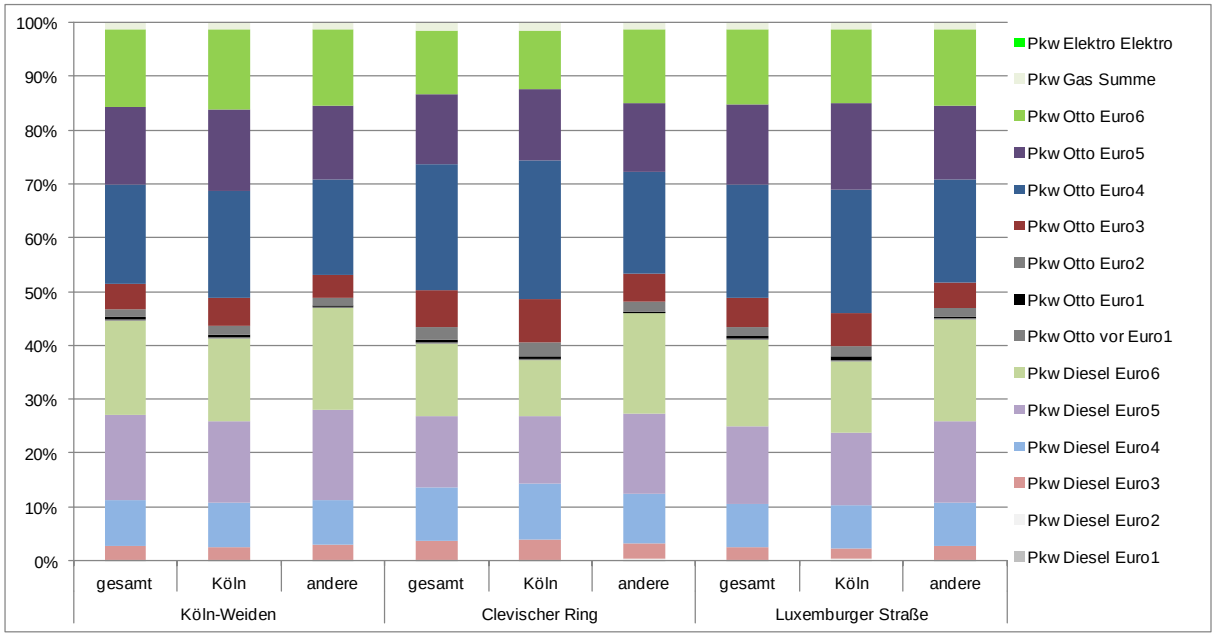


Bild 3.6: Pkw-Flottenzusammensetzung abgeleitet aus den Daten der Kennzeichenerfassung Sept. 2017

Bild 3.7 zeigt die Flottenzusammensetzung der leichten Nutzfahrzeuge. Der Anteil der Diesel-Euro 6 liegt zwischen 10% und 20%, der Anteil der Diesel-Euro 5 dominiert mit meist über 50% an allen drei Standorten. Der Anteil der Diesel < Euro 4 ist bei den Fahrzeugen mit auswärtigem Kennzeichen stets geringer als bei den Fahrzeugen mit Kölner Kennzeichen. Insgesamt liegt der Anteil dieser Fahrzeuge, die – sofern nicht mit Partikelfiltern nachgerüstet oder über eine Ausnahmegenehmigung verfügend – eigentlich nicht in der grüner Umweltzone fahren dürfen, zwischen 7% und 10%.

Ähnlich wie für die Pkw wurde auch für die lNfz abgeschätzt, wie groß der Anteil der Diesel <Euro 4 mit Partikelfilterausrüstung, die eine Einfahrt in die grüne Umweltzone erlaubt, mindestens ist. Dieser Anteil liegt bezogen auf die Diesel < Euro 4 bei 15% bis 20%. Ähnlich wie bereits für die Pkw erläutert, muss auch bei den lNfz davon ausgegangen werden, dass ein höheren Anteil mit Partikelfiltern ausgerüstet ist. So lag der Anteil im Ruhrgebiet der Anteil der nachgerüsteten Diesel Euro 3 bei 27% /AVISO 2015/. Inwieweit die restlichen Diesel <Euro 4 eine Einfahrtsberechtigung haben oder unberechtigt einfahren, kann z.B. über eine Stichprobenkontrolle überprüft werden.

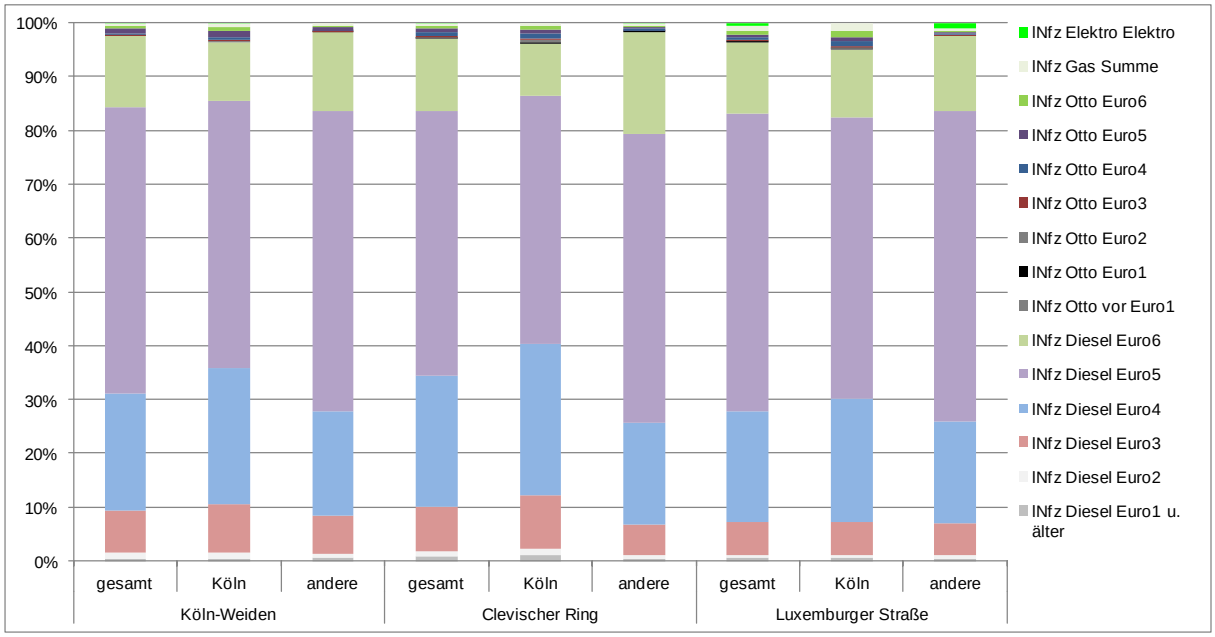


Bild 3.7: Flottenzusammensetzung der leichten Nutzfahrzeuge abgeleitet aus den Daten der Kennzeichenerfassung Sept. 2017

Bild 3.8 zeigt die Flottenzusammensetzung der schweren Nutzfahrzeuge (Lkw und Sattelzugmaschinen). Bei allen drei Standorten zeigt sich deutlich, dass der Anteil der Euro VI Fahrzeuge bei den auswärtigen Kennzeichen höher liegt als bei den Kölnern und der Anteil <Euro IV für die auswärtigen Fahrzeuge deutlich niedriger ausfällt als bei den Kölnern. Insgesamt liegt der Anteil der Euro V und VI Fahrzeuge an allen drei Standorten über 80%.

Der Anteil der Diesel < Euro IV liegt im Bereich von 9% bis 11% bezogen auf alle sNfz pro Standort, der Anteil der Diesel < Euro IV, die mit Partikelfilter ausgerüstet sind, liegt gemäß der der KBA-Daten bei 25% bis 30% (d.h. der Anteil der mindestens mit Partikelfiltern aus- oder nachgerüstet ist).

Insgesamt zeigt sich für die schweren Nutzfahrzeuge>3,5 t zul. Gesamtgewicht die größten Differenzen zwischen den drei Standorten. Eine Ursache hierfür liegt bei der Stichprobengröße, d.h. der Anzahl der erfassten Fahrzeuge, die für die schweren Nutzfahrzeuge am kleinsten ist.

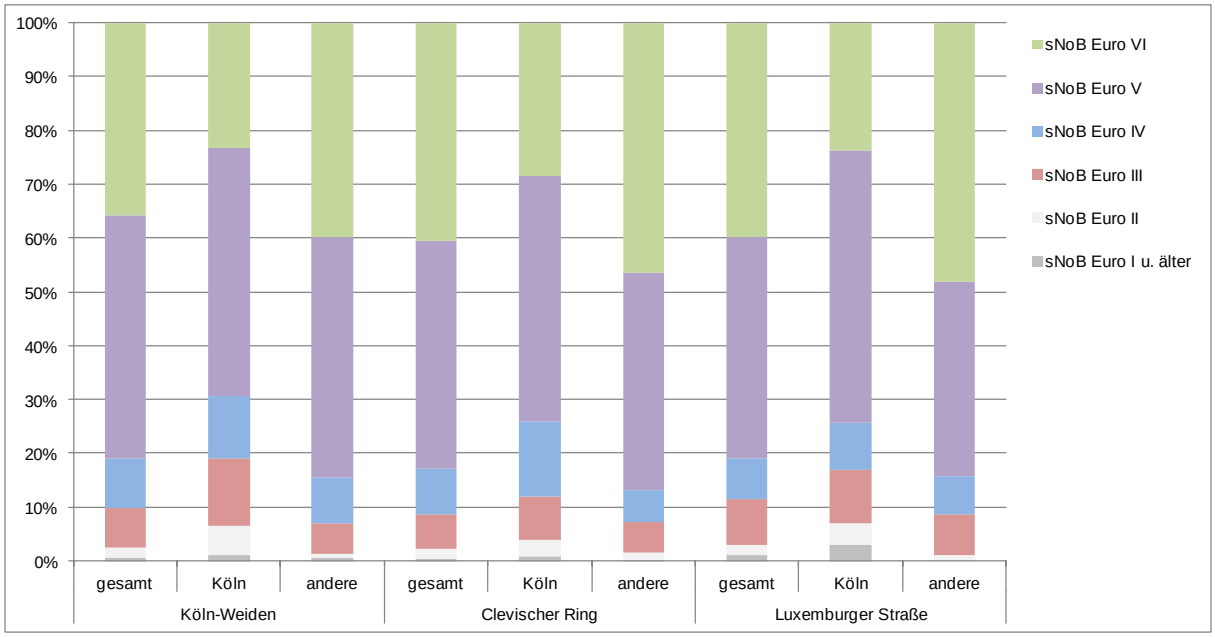


Bild 3.8: Flottenzusammensetzung der schweren Nutzfahrzeugen abgeleitet aus den Daten der Kennzeichenerfassung Sept. 2017

Für die Linienbusse wurden Angaben der KVB zur Zusammensetzung der Busflotte verwendet, da die bei der Kennzeichenerfassung ermittelte Busflotte an den Hotspots nicht nach Linien- und Reisebusse unterschieden werden kann und daher nicht die für Köln spezifische Flotte im Linienverkehr abbildet. Nach Angaben der KVB wurde die Busflotte in Köln, in Abstimmung mit dem LANUV, für 2017 wie folgt angesetzt:

- 10 Solo Euro III
- 38 Solo EEV / Euro V
- 29 Solo Euro VI
- 24 Gelenk Euro III
- 15 Gelenk Euro IV
- 82 Gelenk EEV / Euro V
- 21 Gelenk Euro VI
- 8 Elektrobusse

Der Einsatzplan für die Busse wird täglich neu disponiert, so dass nicht stets die gleichen Busse auf den gleichen Linien eingesetzt werden. Ein gezielter Einsatz der Elektrobusse auf den hier betrachteten Hotspots erfolgt nicht, daher wird für alle drei Standorte diese Busflottenzusammensetzung für die Linienbusse für die Analyse zugrundegelegt.

Die aus den Daten der Kennzeichenerfassung abgeleiteten Flottenzusammensetzungen wurden im Weiteren als Basis zur Ermittlung der charakteristischen Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkategorie verwendet. Es wurde damit die pro Standort an einem Tag erfassten Flottenzusammensetzung als charakteristisch für 2017 angenommen.

Die erfassten Flottenzusammensetzungen weisen zum Einen, wie oben beschrieben, sehr ähnliche Charakteristiken für alle drei Standorte auf und zeigen zum Anderen die mögliche Bandbreite der Flottenzusammensetzung innerhalb des begrenzten Gebietes einer Stadt auf, wie sie sich bei der stichprobenhaften Erhebung an einem Tag ergeben hat.

4 Grundlagen der Emissionsberechnung

Allgemein formuliert werden die Emissionen von Fahrzeugen im Straßenverkehr sowohl von der Technik der Fahrzeuge als auch von deren Betriebsweise bestimmt. Eine Übersicht über einzelne Einflussgrößen gibt Bild 4.1.

Die charakteristischen mittleren Emissionen eines Fahrzeuges unter bestimmten Einsatzbedingungen werden in Form von spezifischen Emissionsfaktoren in g/(Fahrzeug*km) angegeben.

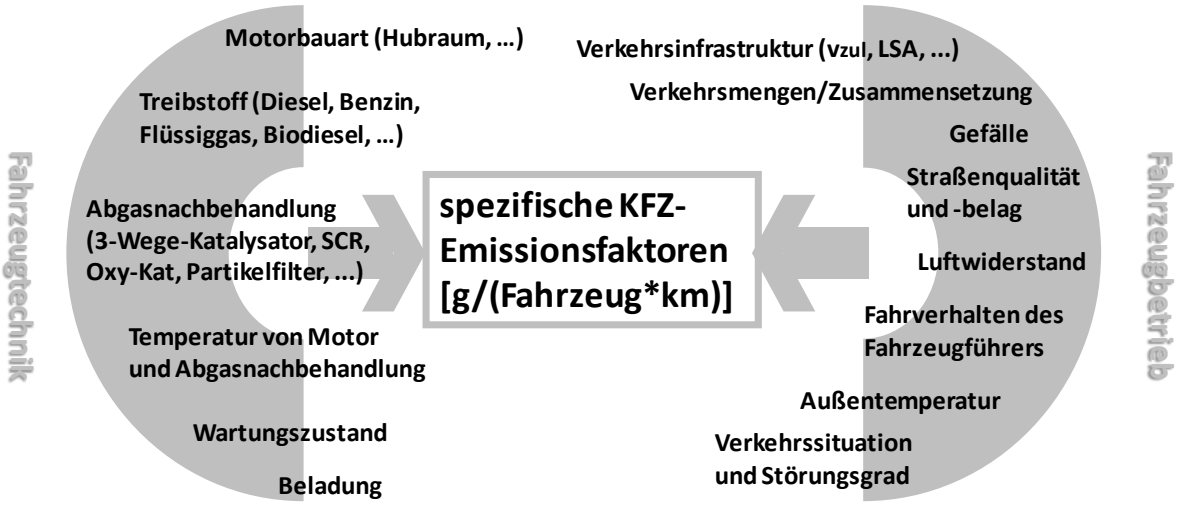


Bild 4.1: Einflussfaktoren auf die spezifischen Emissionsfaktoren

Wesentliche Datengrundlage zur Ermittlung der Emissionen stellt in Deutschland das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in der aktuellen Version 3.3 (HBEFA3.3) dar /HBEFA 2017/.

Die HBEFA3.3-Datenbank enthält pro Fahrzeugkategorie für jede einzelne Fahrzeugschicht (unterschieden nach Motorkonzept, Euronormstufe, Hubraum, Gewichtsklasse, etc.) pro Verkehrssituation sogenannte Schichtemissionsfaktoren für verschiedene Abgaskomponenten. Die Schichtemissionsfaktoren geben die charakteristischen spezifischen Abgasemissionen für die betrachtete Verkehrssituation in g/(Fzg*km) an. Diese Schichtemissionsfaktoren wurden im Rahmen umfangreicher europäischer Projekte ermittelt, wobei zunächst typische Real-World-Fahrzyklen definiert und daraus die sogenannten Verkehrssituationen abgeleitet worden waren (vgl. z.B. /HAUSBERGER 2010/).

Die Schichtemissionsfaktoren im HBEFA3.3 geben daher die Emissionen bei realem Fahrverhalten für unterschiedliche Verkehrssituationen an und liegen jeweils noch für verschiedene Längsneigungen vor. Außerdem sind im HBEFA3.3 Daten zur Berücksichtigung des Kaltstartverhaltens der Fahrzeuge enthalten.

Zur Ermittlung der charakteristischen Emissionsfaktoren ist es zunächst notwendig, die eingesetzte Fahrzeugflotte zu ermitteln. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden dazu für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (lNfz) und schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB) die Ergebnisse der Kennzeichenerfassung und der darauf basierenden KBA-Auswertung verwendet. Für die Busse wurden die Angaben der KVB zur Zusammensetzung der Busflotte für das Jahr 2017 zugrundegelegt.

In Bild 4.2 sind die dynamischen Flottenzusammensetzungen für 2017 für die drei Standorte für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (lNfz), schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB) und Busse dargestellt. Diese wurden aus den Daten der Kennzeichenerfassung, wie in Kap. 3.3 beschrieben, abgeleitet. Der Anteil der Diesel-Pkw mit Euro-4/5/6 liegt im Analysejahr 2017 je nach Strecke zwischen 37% (Clevischer Ring) und 42% (Köln-Weiden). Bei den Otto-Pkw liegt der Anteil der Euro-4/5/6 Fahrzeuge im Jahr 2017 zwischen 47% (Köln-Weiden) und 50% (Luxemburger Straße). Die lNfz werden von den Dieselfahrzeugen dominiert, der Anteil der Diesel-Euro-4/5/6 liegt im Jahr 2017 zwischen 88% (Köln-Weiden) und 89% (Luxemburger Straße). Bei den sNoB sind im Jahr 2017 zwischen 75% (Köln-Weiden) und 80% (Luxemburger Straße) Euro-V/VI-Diesel-Fahrzeuge vorhanden.

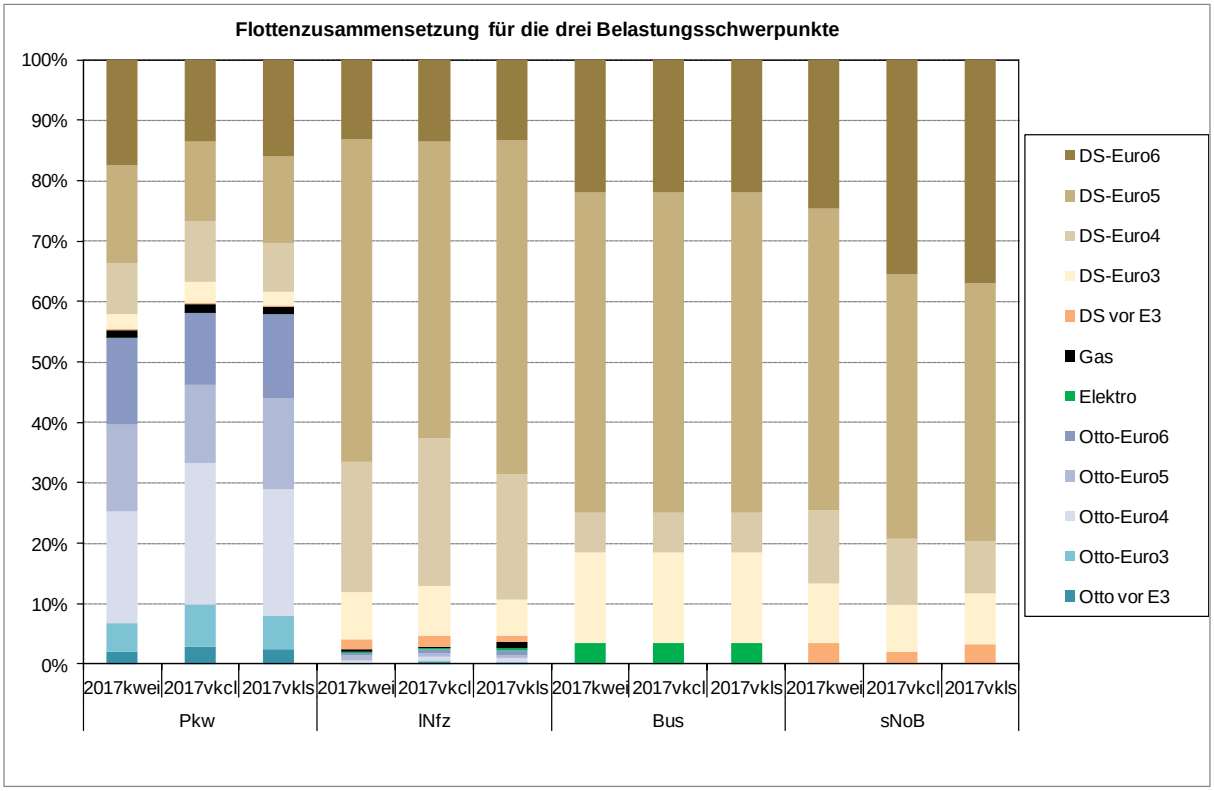


Bild 4.2: Flottenzusammensetzung für die betrachteten Belastungsschwerpunkte für die Fahrzeugkategorien Pkw, lNfz, Bus und sNoB (Lkw+Sattelzug), Analysejahr 2017

Der Vergleich der über die Kennzeichenfassung abgeleiteten Flottenzusammensetzungen mit dem dynamischen Bestand aus der Untersuchung zur Fortschreibung des LRP Köln des LANUV für das Analysejahr 2016 zeigt für die Pkw und lNfz für die aktuelle Situation 2017

etwas höhere Anteile der Euro 6 Fahrzeuge. Dies ist plausibel, da ein Jahr der Flottenentwicklung zwischen den zwei Datensätzen besteht.

Die Prognose der Entwicklung der Flottenzusammensetzung bis 2020 berücksichtigt die Bestandsveränderungen aufgrund der Löschungen und Neuzulassungen hin zu einem emissionsärmeren Fahrzeugkollektiv. Die Prognose 2020 wird für alle drei Standorte gleich angesetzt und entspricht der Prognose aus den Untersuchungen für die Fortschreibung des LRP Köln des LANUV.

4.1 NO_X-Emissionsfaktoren

Verkehrssituation nach HBEFA3.3

Die Schichtemissionsfaktoren sind in HBEFA3.3 für unterschiedliche Fahr-/Straßen- und Verkehrszustände angegeben. Diese werden in einem Schema von Verkehrssituationen kategorisiert, differenziert nach den folgenden Merkmalen:

- Gebietstyp, ländlich und städtisch (Agglomeration))
- Straßentyp
- Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (Level of Service (LOS): flüssiger, dichter und gesättigter Verkehr und Stop&Go-Verkehr)
- zulässige Höchstgeschwindigkeit

Die für die drei betrachteten Belastungsschwerpunkte relevanten Verkehrssituationen gemäß HBEFA3.3 sind die Verkehrssituationen für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße mit Tempolimit 50 km/h für flüssigen, dichten und gesättigten Verkehr und für Stop&Go-Verkehr.

Für den Clevischen Ring wurden zusätzlich Messfahrten zur Ermittlung des Level of Service im Tagesverlauf durchgeführt. Für die anderen beiden Streckenabschnitte wurde dieser über den Auslastungsgrad abgeleitet.

NO_X-Abgas-Emissionsfaktoren

Die NO_X-Abgas-Emissionsfaktoren wurden unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Daten und Annahmen zur Flottenzusammensetzung und der Schichtemissionsfaktoren aus HBEFA3.3 für das Analysejahr 2017 und die Trendprognose 2020 ermittelt.

In Tab. 4.1 sind für die drei Belastungsschwerpunkte die aus den erfassten Flottenzusammensetzungen ermittelten NO_X-Abgas-Emissionsfaktoren für die relevanten Verkehrssituationen dargestellt. Diese spezifischen Emissionsfaktoren geben die emittierte Schadstoffmenge in g pro Fahrzeug und km an. Deutlich zu erkennen ist, dass die NO_X-Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge (Lkw, Last-/Sattelzüge) teilweise um den Faktor 10 höher sind als die der Pkw.

Tab. 4.1: NO_X-Abgas-Emissionsfaktoren für das Analysejahr 2017 für die drei Belastungsschwerpunkte

NO_X-Abgas-Emissionsfaktoren [g/(km*Fzg)]					
Verkehrssituation			Aachener Straße	Clevischer Ring	Luxemburger Straße
IO HVS 50 *	flüssig	Pkw	0,290	0,280	0,278
IO HVS 50	dicht		0,324	0,313	0,310
IO HVS 50	gesättigt		0,373	0,360	0,357
IO HVS 50	Stop&Go		0,525	0,511	0,500
IO HVS 50	flüssig	lNfz	0,491	0,495	0,480
IO HVS 50	dicht		0,506	0,510	0,493
IO HVS 50	gesättigt		0,581	0,586	0,566
IO HVS 50	Stop&Go		0,720	0,727	0,704
IO HVS 50	flüssig	Lkw > 3,5 t	3,410	2,983	2,939
IO HVS 50	dicht		3,523	3,092	3,052
IO HVS 50	gesättigt		2,760	2,404	2,376
IO HVS 50	Stop&Go		7,217	6,492	6,404
IO HVS 50	flüssig	Last-/Sattelzug	1,876	2,734	2,104
IO HVS 50	dicht		2,440	3,475	2,661
IO HVS 50	gesättigt		2,561	3,615	2,785
IO HVS 50	Stop&Go		6,368	8,292	6,562

* innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h

Für die Emissionsberechnung wurde jedem der drei Streckenabschnitten (und den weiteren Streckenabschnitten, die innerhalb der MISKAM-Berechnungsgebiete liegen und für die Emissionen ermittelt wurden) aus den infrastrukturellen Merkmalen der statischen Teil der Verkehrssituation (Kombination aus Gebietstyp, Straßentyp und Tempolimit) zugeordnet. Zusätzlich wird der Störungsgrad im Verkehrsablauf (Level of Service, LOS) zur vollständigen Bestimmung der Verkehrssituation benötigt. Dieser kann in Abhängigkeit der Verkehrsstärke und -zusammensetzung variieren und kann über die Berechnung des Tagesgangs der Verkehrsstärken und Auslastung unter Berücksichtigung charakteristischer Fundamentaldiagramme (qv-Funktionen) abgeleitet werden.

Für den Clevischen Ring fanden zusätzlich Messfahrten statt (vgl. Anhang), die zur Ableitung des LOS genutzt wurden. Mit dieser für 2017 erfassten LOS-Verteilung ergaben sich leichte Differenzen zu den für die Untersuchungen zur Fortschreibung des LRP für das LANUV durchgeführten Berechnungen für 2016.

5 Emissionen Kfz-Verkehr

Die Methodik der Emissionsberechnung basiert auf der VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7 (Kfz-Emissionsbestimmung). Es wurde das gleiche Emissionsberechnungsmodell eingesetzt, das auch für die Emissionsberechnungen im Rahmen der Luftreinhaltplanung für das LANUV verwendet wird.

5.1 Analyse 2017 (Szenario I) und Trendprognose 2020 (Szenario II)

Unter Berücksichtigung der charakteristischen Emissionsfaktoren wurden zunächst pro Standort Emissionsberechnungen für das Analysejahr 2017 und die Trendprognose 2020 durchgeführt. Die Trendprognose stellt die Entwicklung ohne Umsetzung weiterer Maßnahmen dar. Aufgrund der allgemeinen Flottenentwicklung hin zu emissionsärmeren Fahrzeugen wird sich bereits in der Trendentwicklung eine Reduktion der Emissionsbelastung ergeben. Diese liegt für die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs im Bereich von -19% bis -27%.

In Bild 5.1 bis Bild 5.3 sind die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs für die Analyse 2017 und die Trendprognose 2020 dargestellt., differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten (Euro 1 bis Euro 6).

Mit knapp 9.000 kg/(km*a) im Analysejahr 2017 liegen die NO_X-Emissionen am Clevischen Ring (Bild 5.2) doppelt so hoch wie an dem Hotspot in Köln-Weiden (Bild 5.1). Für die Luxemburger Straße (Bild 5.3) ergeben sich NO_X-Emissionen von knapp über 4.000 kg/(km*a). In allen drei Fällen tragen die Pkw mit dem größten Anteil bei.

Deutlich zu erkennen ist der hohe Beitrag der Diesel-Pkw an den Gesamtemissionen. Im Analysejahr 2017 tragen die Diesel-Pkw in Köln-Weiden mit 45% zu den gesamten NO_X-Emissionen bei, am Clevischen Ring mit ca. 42% und an der Luxemburger Straße mit ca. 61%. In der Trendprognose 2020 erhöhen sich diese Anteilswerte auf 54% bis zu 70%. Grund hierfür ist, dass erst für die Diesel-Pkw, die die Euro 6 d-Temp/d Norm ab 2019 bzw. 2021 einhalten (d.h. Diesel Pkw Euro 6, die nach dem RDE-Prüfverfahren zugelassen werden (RDE = real driving emissions)) die NO_X-Emissionen deutlich abnehmen werden. Für die schweren Nutzfahrzeuge trifft dies bereits ab der Euro VI Norm zu, die seit 2014 bei Neuzulassungen einzuhalten ist.

Der zweitgrößte Beitrag zu den NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs wird im Analysejahr 2017 durch die schweren Nutzfahrzeuge verursacht, wobei deren Anteil bis 2020 abnimmt. In 2020 wird die Flotte der schweren Nutzfahrzeuge mit über 70% von den Euro VI Fahrzeugen dominiert und diese weisen gegenüber den Euro V Fahrzeugen deutlich niedrigere NO_X-Emissionen auf.

Der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge < 3,5 t zul. GG (lNfz) an den NO_X-Emissionen liegt im Analysejahr 2017 zwischen 4% und 8% und in der Trendprognose 2020 zwischen 4% und 6%.

Für das Analysejahr 2017 liegen die NO_X-Gesamtemissionen des Straßenverkehrs geringfügig unter den entsprechenden Werten aus den Untersuchungen des LANUV für den LRP, die dort für das Jahr 2016 durchgeführt wurden.

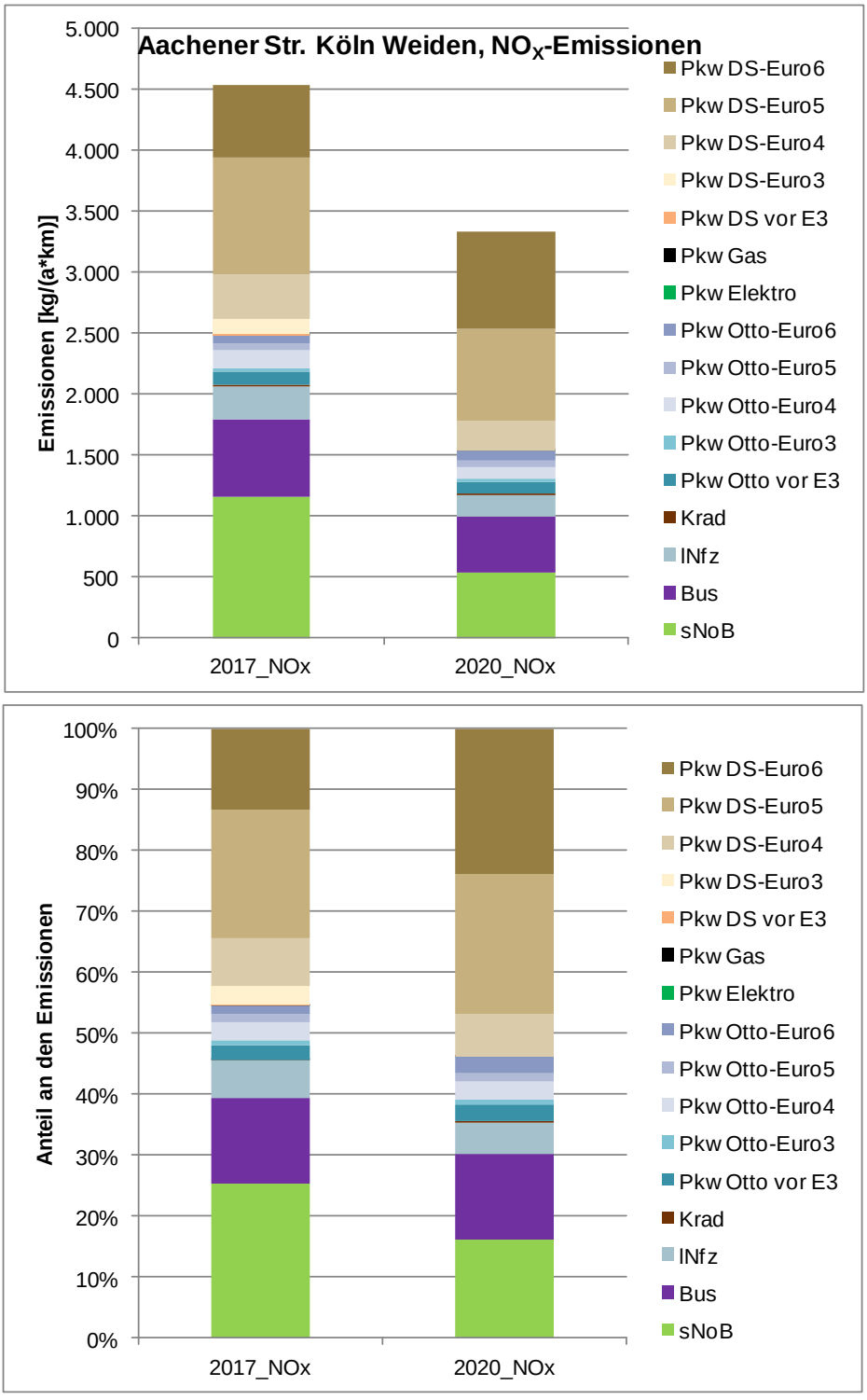


Bild 5.1: NO_x-Jahresemissionen für die Aachener Straße, Köln-Weiden differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten, Analysejahr 2017 und Prognosejahr 2020

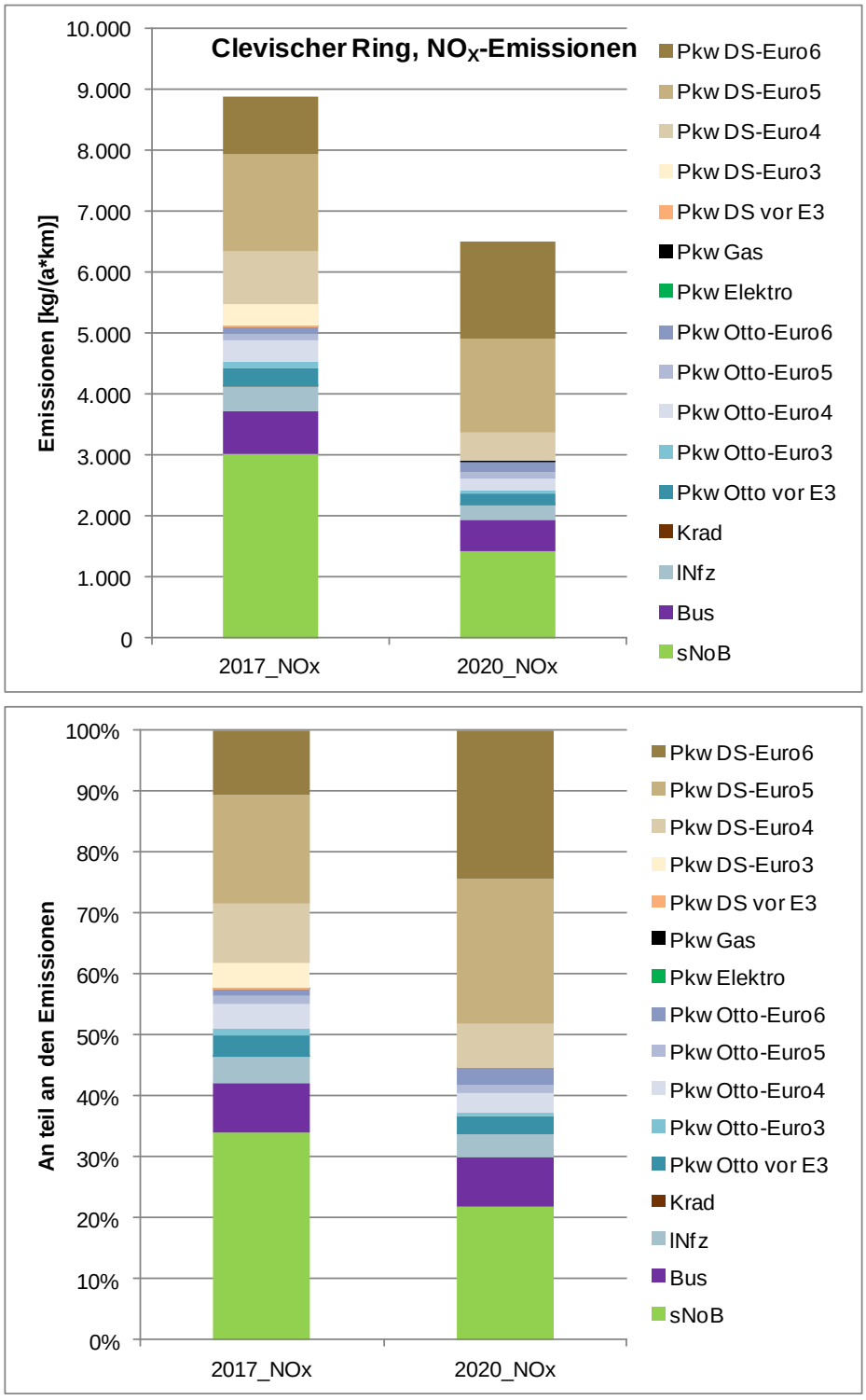
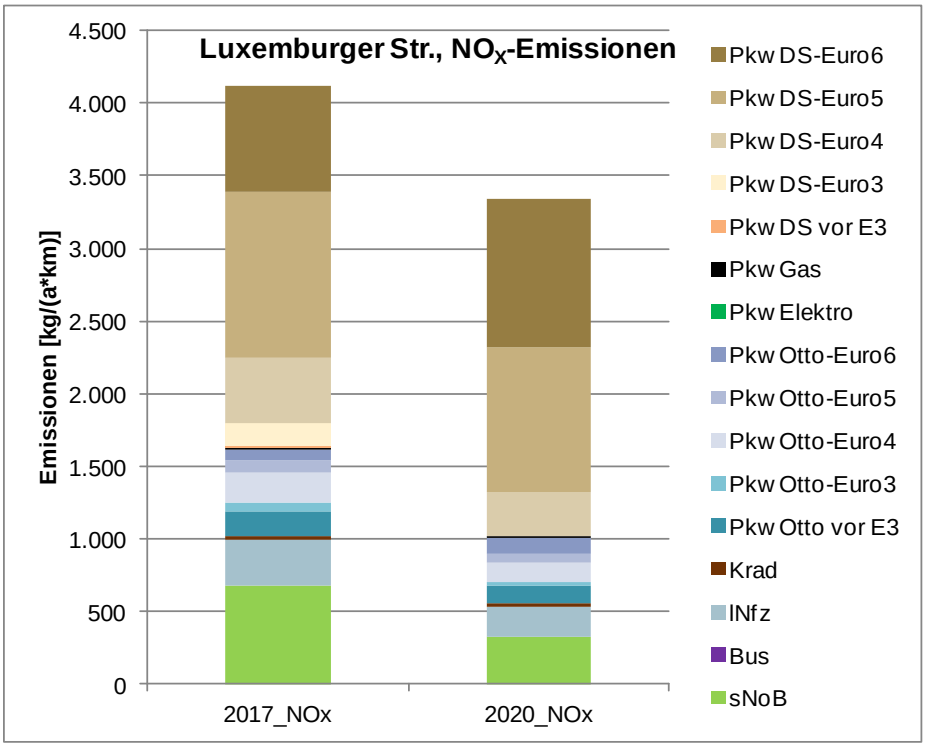


Bild 5.2: NO_X-Jahresemissionen für den Clevischen Ring differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten, Analysejahr 2017 und Prognosejahr 2020



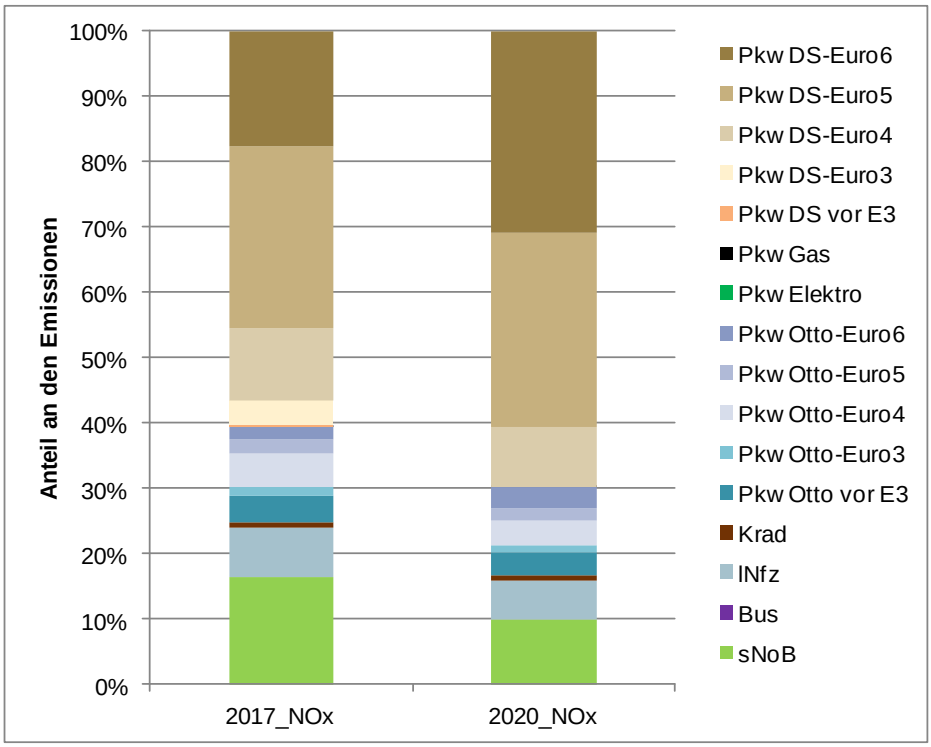


Bild 5.3: NO_X-Jahresemissionen für die Luxemburger Straße differenziert nach Fahrzeugkategorien und für die Pkw zusätzlich nach Emissionskonzepten, Analysejahr 2017 und Prognosejahr 2020

5.2 Szenarien-Berechnung (Szenario III, IV, V)

Ergänzend zur Ermittlung der Trendentwicklung wurden weitere Untersuchungen durchgeführt. Dies ist zum Einen die theoretische Betrachtung, welche Verkehrsverringerung notwendig ist, um den NO_2-Grenzwert einzuhalten. Des Weiteren wurden die Wirkungen der Maßnahmen blaue Umweltzone und Dieselverkehrsbeschränkung berechnet. Im Folgenden werden die Randbedingungen zu diesen drei Betrachtungen erläutert.

Verkehrsverringerung (Szenario III)

Im Rahmen des Szenario III (Verkehrsverringerung) wurde der Anteil an der Verkehrsbelastung bestimmt, um den diese reduziert werden müsste, um die Einhaltung des Grenzwertes für den Jahresmittelwert für NO_2 zu erzielen. Der Linienbusverkehr blieb dabei unverändert. Diese Betrachtung wurde sowohl für das Analysejahr 2017 als auch für das Prognosejahr 2020 durchgeführt.

Ausgangspunkt für diese Betrachtung stellen die für das Analysejahr 2017 und die Trendprognose 2020 ermittelten Konzentrationen dar (vgl. Kap 6). In Form einer Rückrechnung wurden jeweils die erforderliche Reduktion der NO_X-Emissionen und daraus die erforderliche Reduktion der Verkehrsbelastungen ermittelt. Bei den Emissionsberechnungen wurde die Flottenzusammensetzung gegenüber der Analyse 2017 bzw. der Trendprognose 2020 unverändert beibehalten.

Die Berechnungen wurden sowohl für die Konzentrationen in Messhöhe als auch in 1,5 m Höhe über Grund durchgeführt. In den weitergehenden Betrachtungen und Darstellungen werden jeweils die Ergebnisse für die Einhaltung des Grenzwertes in Messhöhe verwendet.

Blaue Umweltzone (Szenario IV)

Dieser Maßnahmenbetrachtung liegt der Ausschluss von Fahrzeugen ohne blaue Plakette (Otto schlechter Euro 3 und Diesel schlechter Euro 6/VI) zugrunde. Die entsprechenden Randbedingungen, die mit dem LANUV abgestimmt wurden, sind die folgenden:

- Zulässige Emissionsstufen: Otto ab Euro 3 und Diesel ab Euro 6 / VI
- Vom Verbot betroffene Fahrzeuge: Otto vor Euro 3 und Diesel vor Euro 6 / VI; 20% Ausnahmen werden berücksichtigt; es sind alle Fahrzeugkategorien betroffen (Pkw, lNfz, sNob und Busse)
- Der Ersatz der vom Verbot betroffenen Otto-Fahrzeuge erfolgt durch Otto Euro 6, der Ersatz der vom Verbot betroffenen Diesel-Fahrzeuge erfolgt durch Diesel Euro 6 / VI
- Die Verkehrsbelastungen bleiben gegenüber dem Analysefall unverändert;

Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V)

Bei dieser Maßnahme findet ein Ausschluss von Dieselfahrzeugen statt. Auch hier fand eine Abstimmung der Randbedingungen mit dem LANUV statt. Diese wurden wie folgt festgelegt:

- Von den Dieselverkehrsbeschränkungen sind nur die Pkw und lNfz betroffen

- sNob und Busse bleiben gegenüber der grünen Umweltzone unverändert
- Zulässige Emissionsstufen bei den Pkw und lNfz: alle Otto-Fahrzeuge
- Vom Verbot betroffene Fahrzeuge: alle Pkw und lNfz Diesel; 20% Ausnahmen werden berücksichtigt;
- Der Ersatz der vom Verbot betroffenen Diesel-Fahrzeuge erfolgt durch Otto Euro 6
- Die Verkehrsbelastungen bleiben gegenüber dem Analysefall unverändert;

5.3 Emissionsergebnisse

Es wurden die NO_X- Emissionen für die oben beschriebenen Szenarien berechnet. Die ermittelten Emissionen sind differenziert nach Fahrzeugkategorien für die drei betrachteten Strecken in den folgenden Bildern aufgeführt, ergänzend sind die Ergebnisse für das Analysejahr 2017 und die Trendprognose 2020 (vgl. Kap.5.1) mit dargestellt.

Für die theoretische Betrachtung „Verkehrsverminderung zur Einhaltung des NO_2-Grenzwertes“ (VMind. 2017 und VMind.2020, Szenario III) variiert die benötigte Reduktion der Verkehrsbelastung für das Jahr 2017 zwischen 44% für die Luxemburger Straße und 75% für den Clevischen Ring. Für 2020 ist am Clevischen Ring eine Verkehrsreduktion über alle Fahrzeugarten (außer Busse) von 60% erforderlich. Im Bereich der Messstation in Köln-Weiden liegt die erforderliche Verkehrsreduktion bei ca. 40% und an der Luxemburger Straße würde eine Reduktion der Verkehrsbelastung aller Fahrzeugarten (außer Busse) knapp unter 30% zu einer Einhaltung des NO_2-Grenzwertes führen. Die sich daraus ergebenen NO_X-Emissionsreduktionen sind in Bild 5.4 bis Bild 5.6 dargestellt. Anzumerken ist, dass für diese theoretische Betrachtung die erforderliche Verkehrsreduktion bzw. Emissionsreduktion unter Beibehaltung der Flottenzusammensetzung wie in der Analyse 2017 bzw. der Trendprognose 2020 ermittelt wurde.

Für die Maßnahme blaue Umweltzone 2017 (blUZ 2017, Szenario IV) ergibt sich je nach Hotspot eine Reduktion der NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs zwischen 29% und 42% und im Jahr 2020 Reduktionen zwischen 32% und 40%.

Für die Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung 2017 (DVB 2017, Szenario V) liegen die Reduktionen zwischen 30% und 43% und im Jahr 2020 zwischen 37% und 46%.

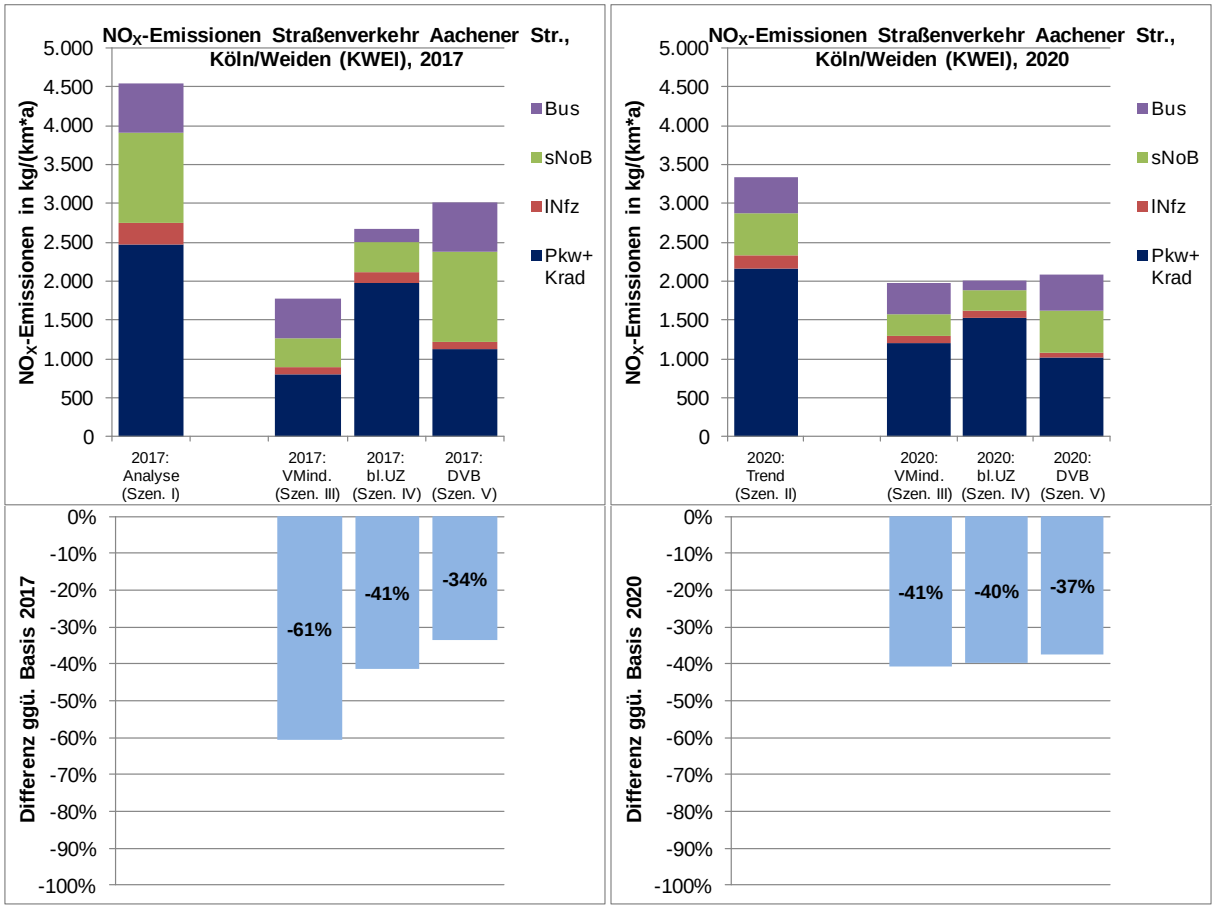


Bild 5.4: NO_X-Jahresemissionen für die Aachener Straße in Köln-Weiden differenziert nach Fahrzeugkategorien, Analysejahr 2017, Prognosejahr 2020 und Maßnahmen

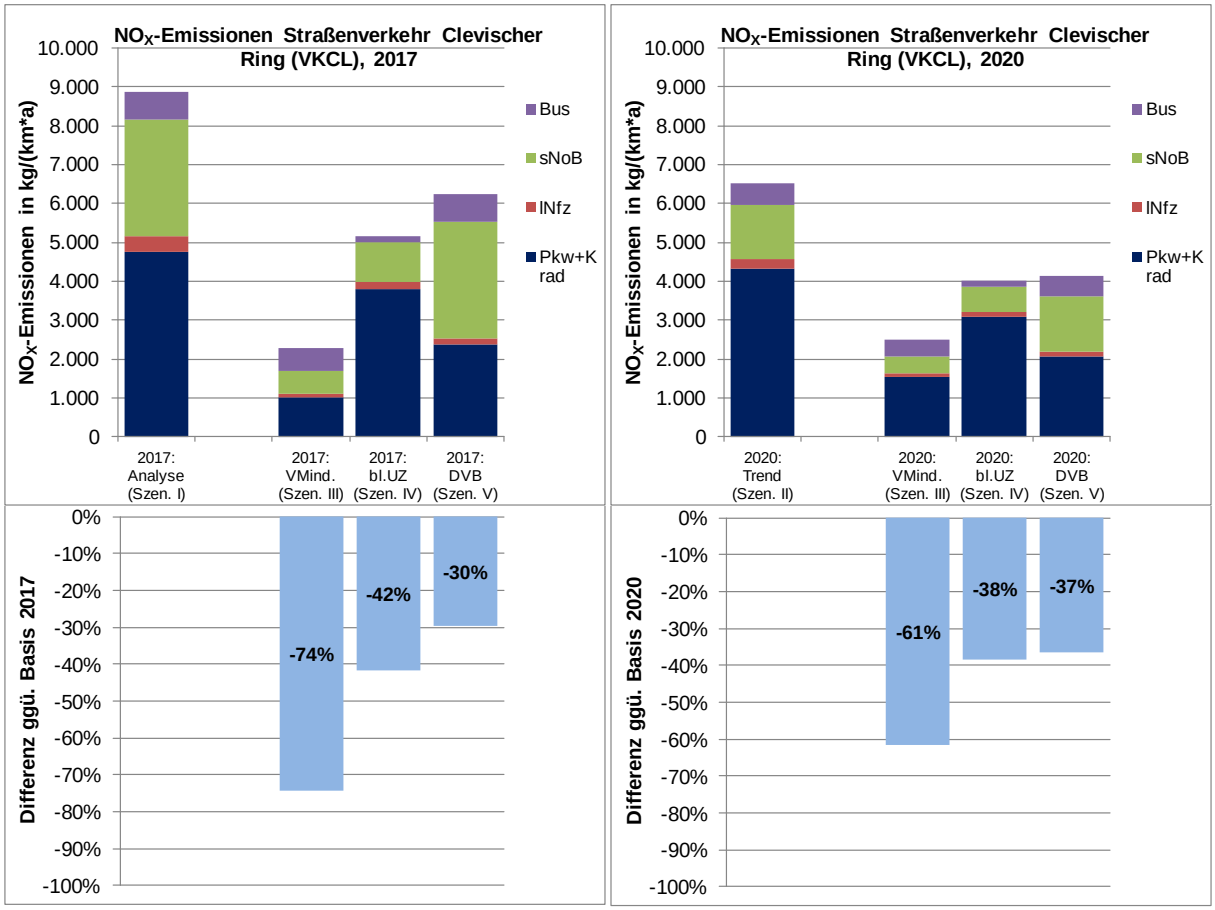


Bild 5.5: NO_X-Jahresemissionen für den Clevischen Ring differenziert nach Fahrzeugkategorien, Analysejahr 2017, Prognosejahr 2020 und Maßnahmen

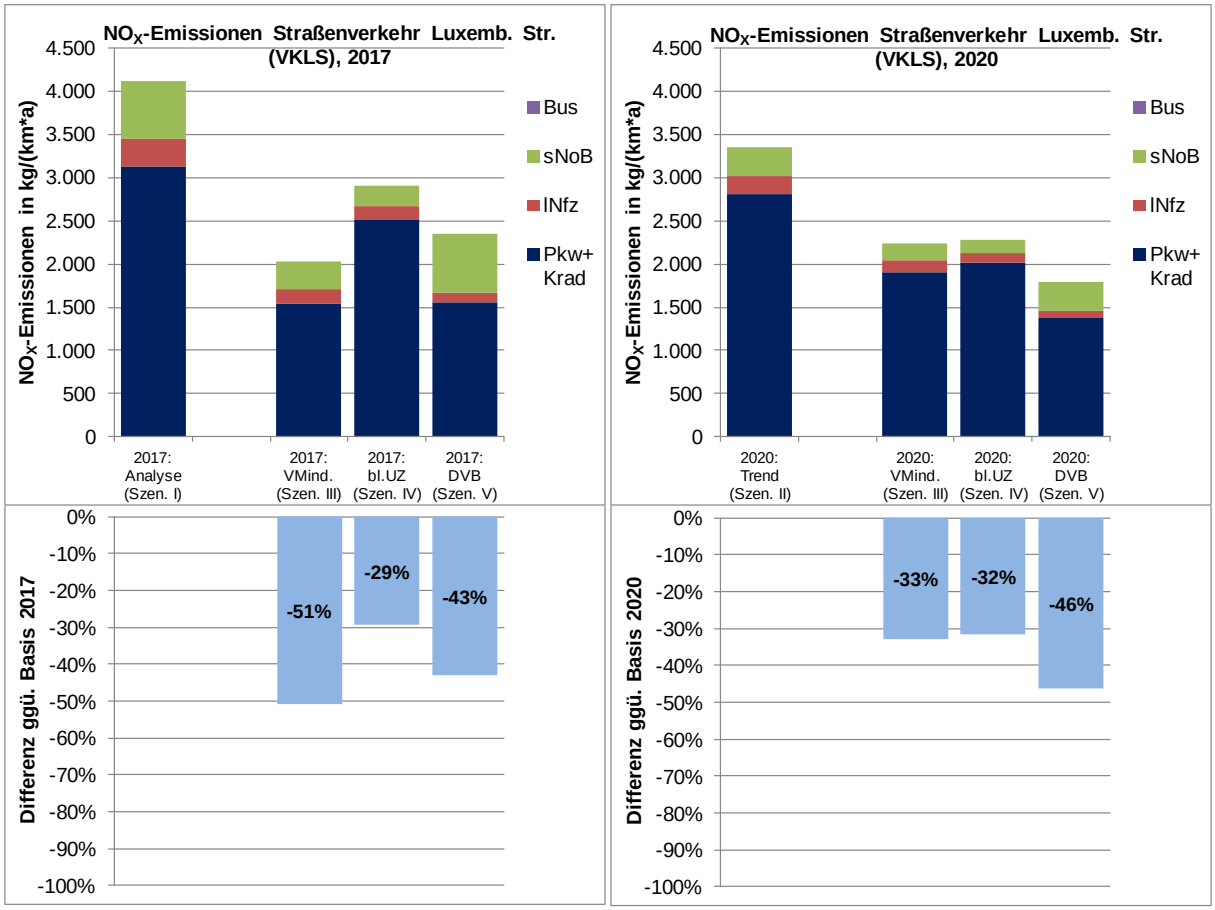


Bild 5.6: NO_X-Jahresemissionen für die Luxemburger Straße differenziert nach Fahrzeugkategorien, Analysejahr 2017, Prognosejahr 2020 und Maßnahmen

6 Immissionsberechnungen

6.1 Das Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM

Das Strömungs- und Ausbreitungsfeld in bebauten Gebieten wird maßgeblich durch die Gebäude geprägt. Unterhalb des mittleren Dachniveaus bilden sich mikroskalige, sehr komplexe, dreidimensionale Strömungszonen wie Nachlaufzonen, Rückströmzonen und Wirbelgebiete aus.

Für die flächendeckende Prognostizierung der Immissionsbelastungen für die im Rahmen dieses Gutachtens zu betrachtenden drei Untersuchungsgebiete werden Immissionsberechnungen mit dem mikroskaligen, prognostische Modell MISKAM, das am Institut für Physik der Atmosphäre Mainz entwickelt wurde /EICHHORN 1989, EICHHORN 2011/ und mittlerweile in der Version 6.3 (2015) vorliegt, durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung des Modells ist in der zitierten Arbeit von Eichhorn gegeben. MISKAM besteht aus einem Windfeld- und einem Ausbreitungsmodell. Das Windfeld wird durch die numerische Lösung der Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und Energie berechnet. Als Turbulenzmodell wird ein Standard-k,ε-Modell eingesetzt. Bei dem Ausbreitungsmodell handelt es sich um ein Euler-Modell. MISKAM gilt in seiner heutigen Version als Standardmodell und dient für andere Modellentwicklungen in der Mikroskala als Referenz- und Vergleichsmaßstab.

6.2 Modellvorgaben

Für die zu betrachtenden drei Straßenabschnitte – Aachener Straße in Köln-Weiden (KWEI), Clevischer Ring (VKCL) und Luxemburger Straße (VKLS) – an denen in den letzten Jahren Überschreitungen der NO_2-Grenzwerte für das Jahresmittel gemessen wurden, sind in Bild 6.1 bis Bild 6.3 die definierten Untersuchungsgebiete dargestellt. Die drei Untersuchungsgebiete umfassen neben dem zu untersuchenden Straßenabschnitt mit der jeweiligen Messstelle auch die kreuzenden bzw. einmündenden und abgehenden Straßenabschnitte. Die drei Rechengebiete haben jeweils in etwa eine Größe von 600 m x 500 m. Die längere Seite des rechteckigen Untersuchungsgebietes verläuft in Richtung der Achse des zu untersuchenden Straßenabschnittes.

Das Rechengitter ist nicht-äquidistant gewählt und hat im Bereich der Messstellen eine horizontale Gitterauflösung von 1,0 m quer zur Straßenachse und 1,0 m in Längsrichtung. Die feine Auflösung ist erforderlich, um zum einen die Turbulenzstrukturen möglichst gut auflösen zu können und zum anderen die in der VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 /VDI 2005/ angegebenen Mindestabstände zwischen Immissionsort, Beurteilungsort und Quelle einhalten zu können. Außerhalb dieses Kernbereichs um die Messstellen nehmen die Maschenweiten bis zum Rand des Rechengebietes kontinuierlich bis auf eine Gitterweite von maximal 2,5 m zu. In der Vertikalen beträgt die Gittermaschenweite bis in 3,6 m Höhe 0,4 m. Damit sind die Definition der Kfz-Emissionen in einer mittleren Höhe von 0,6 m und die Ermittlung der Immissionskonzentrationen in der mittleren Standardhöhe von etwa 1,5 m sowie in Höhe der Passivsammler in der Aachener Straße in Köln-Weiden und der Luxemburger Straße

(2,94 m und 2,85 m über Grund) sowie der Messeinlass an der Messstation Clevischer Ring (3,5 m Höhe über Grund) möglich. Bis zum oberen Modellrand, der mit der 4,5-fachen Höhe des höchsten Gebäudes im Modellgebiet festgesetzt wurde, um eine Beeinflussung des Modelloberrandes durch die höchsten Gebäude in den Untersuchungsgebieten weitgehend auszuschließen, erfolgt eine kontinuierliche Spreizung des Gitters. Die für die Modellrechnungen benötigten Gebäudestrukturen und Gebäudehöhen sowie Geländestrukturen wurden auf der Basis von Gebäudedaten LoD1 aus einer Befliegung aus dem Jahr 2007 sowie auf Basis des bereitgestellten Digitalen Geländemodells (DGM) ermittelt (bereitgestellt am 27.07.2017 durch: Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln).

Die Kfz-Emissionen der zu betrachtenden Straßen wurden im Bereich der Luftmessstationen fahrspurfein, für die von den Messstationen entfernt liegenden Straßenabschnitte richtungsfein als Linienquellen vorgegeben mit einer Emissionsfreisetzung in einer mittleren Höhe von 0,6 m.

6.3 Umfang der Berechnungen

Die Berechnungen der Immissionsbelastungen durch die Kfz-Emissionen wurden für 36 Windrichtungen bei einer Referenzgeschwindigkeit durchgeführt. Die Konzentrationswerte bei anderen Windgeschwindigkeiten lassen sich unter der Annahme berechnen, dass sie in erster Näherung umgekehrt proportional zur Windgeschwindigkeit sind. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten führt diese Annahme gegebenenfalls zu einer Überschätzung der Immissionskonzentrationen durch den Straßenverkehr, da die Kfz-erzeugte Turbulenz zunehmend an Einfluss gewinnt. Allerdings ist die Bestimmung des Einflusses fahrzeuginduzierter Turbulenz und deren Berücksichtigung in Ausbreitungsmodellen äußerst komplex. Durch die Nichtberücksichtigung der Kfz-erzeugten Turbulenz liegt man tendenziell im Sinne einer konservativen Betrachtung auf der sicheren Seite.

Die Immissionsberechnungen für die drei Straßenabschnitte, an denen Grenzwertüberschreitungen für den NO_2-Jahresmittelwert gemessen wurden, wurden für folgende Fälle durchgeführt:

- Szenario I: Analysefall 2017 (Verkehr und Emissionen des Jahres 2017)
- Szenario II: Nullfall 2020 (Verkehr und Emissionen des Jahres 2020)
- Szenario III: Verkehrsreduktion zur Einhaltung des Grenzwertes für 2017 und 2020
- Szenario IV: Maßnahme blaue Umweltzone 2017
- Szenario V: Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung 2017

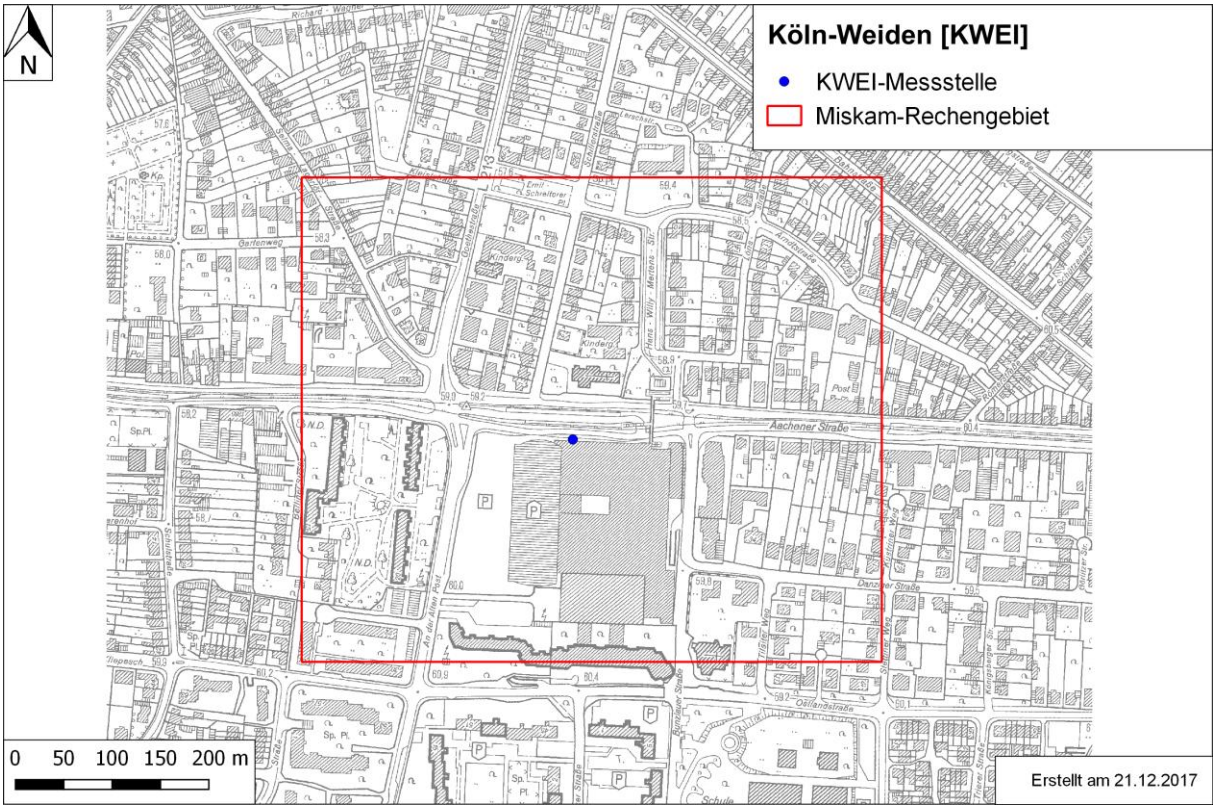


Bild 6.1: Untersuchungsgebiet Aachener Straße in Köln Weiden (KWEI): Katasterplan mit Darstellung der Messstelle und Umriss des MISKAM-Rechengebiets.

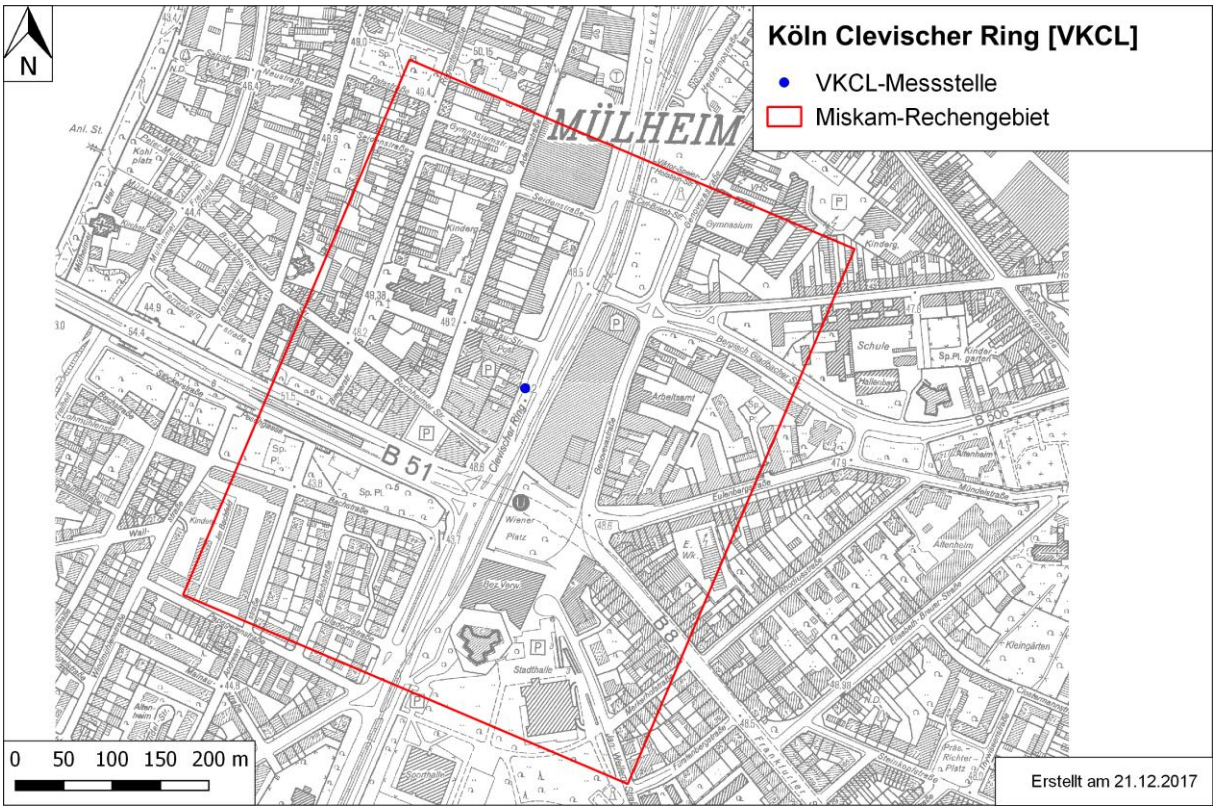


Bild 6.2: Untersuchungsgebiet Clevischer Ring (VKCL): Katasterplan mit Darstellung der Messstelle (rote Markierung) und Umriss des MISKAM-Rechengebiets

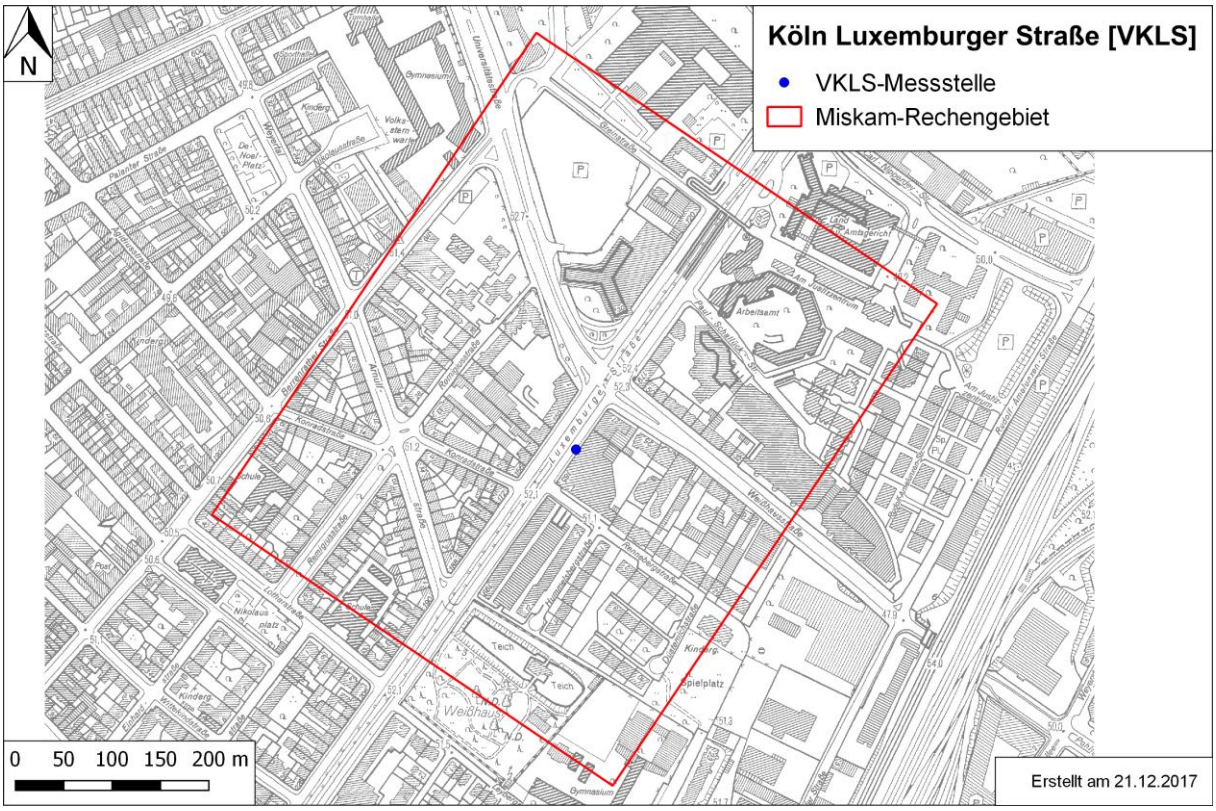


Bild 6.3: Untersuchungsgebiet Luxemburger Straße (VKLS): Katasterplan mit Darstellung der Messstelle und Umriss des MISKAM-Rechengebiets

6.4 Bestimmung statistischer Kenngrößen für NO_2

Windstatistik zur Bestimmung der Jahresmittelwerte

Für die Bestimmung der Jahresmittelwerte für NO_2 wird eine für den Untersuchungsort repräsentative Windstatistik mit den Parametern Windrichtung und Windgeschwindigkeit benötigt. Bei Gewichtung der für jede Anströmrichtung und Windgeschwindigkeitsklasse bestimmten Immissionszusatzbelastungen gemäß der prozentualen Häufigkeit der entsprechenden Ausbreitungssituation, die in der Windstatistik durch Angabe der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit gegeben ist, werden die Jahresmittelwerte bestimmt.

Bei Immissionsberechnungen stellt sich grundsätzlich die Frage, ob für die Bestimmung der statistischen Kenngrößen eine langjährige Windstatistik oder aber die Windverhältnisse für ein Einzeljahr zu Grunde gelegt werden sollten. Der Vergleich von Berechnungen mit Messungen für ein in der Vergangenheit liegendes Jahr legt nahe, die Meteorologie des spezifischen Einzeljahres zu verwenden. Für eine Prognostizierung ist eine Windstatistik über mehrere Jahre, welche die mittleren meteorologischen Verhältnisse wiedergibt, die bessere Wahl. Für die vorliegende Untersuchung wird eine mehrjährige Statistik gewählt.

Die für die statistischen Berechnungen gewählten meteorologischen Daten sollten die Windverhältnisse im Untersuchungsgebiet möglichst gut repräsentieren, aber möglichst frei von Gebäudeeinflüssen sein. Hierfür geeignet sind grundsätzlich möglichst freistehende Stadtrandstationen, wie in Köln beispielsweise die Messstationen des LANUV in Köln-Chorweiler und Köln-Rodenkirchen sowie die Flughafenstation des DWD Köln-Wahn, die die Freilandverhältnisse wiedergibt. Die Station Chorweiler liegt ca. 9 km Luftlinie nordwestlich, die Station Rodenkirchen ca. 9 km südlich und die Station Köln-Wahn ca. 13 km südöstlich des Zentrums (Dom). Der Gebietstyp wird bei den beiden Stationen des LANUV als vorstädtisch eingestuft. Die Stationen Chorweiler und Rodenkirchen zeigen beide die für den Raum Köln typische Windverteilung mit dem Hauptmaximum für Winde aus OSO bis SSO und dem Nebenmaximum für Winde aus West. An der Station Köln-Wahn ist das Hauptmaximum für Winde aus OSO stärker ausgeprägt, dafür ist das Nebenmaximum „West“ im Vergleich zu den Stationen Chorweiler und Rodenkirchen nicht ganz so auffallend.

Neben der Windrichtungsverteilung ist bei der Auswahl einer geeigneten Windstatistik die Windgeschwindigkeit zu berücksichtigen. Die über mehrere Jahre gemittelte Windgeschwindigkeit beträgt für die Station Chorweiler ca. 2,4 m/s in 19 m Höhe, für die Station Rodenkirchen 2,1 m/s in 19 m Höhe. Die Station Köln-Wahn zeigt dagegen im langjährigen Mittel Werte für die mittlere Windgeschwindigkeit von mehr als 3,2 m/s.

Aufgrund der innerstädtischen Lage der drei Untersuchungsgebiete ist die Verwendung einer der LANUV-Messstationen, die die umliegende städtische Nutzung mitberücksichtigen ohne direkt lokal beeinflusst zu sein, der Vorzug zu geben. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird der statistischen Auswertung die Windstatistik der Station Rodenkirchen für den Zeitraum 2010 bis 2016 zugrunde gelegt (eine belastbare 10-jährige Statistik kann aufgrund zu geringer Datenverfügbarkeit der Messstation in den Messjahren 2007 bis 2009 nicht erzeugt werden). Die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der LANUV-Station Köln-Rodenkirchen, die der statistischen Auswertung zugrunde gelegt wurde, ist in Bild 6.4 dargestellt.

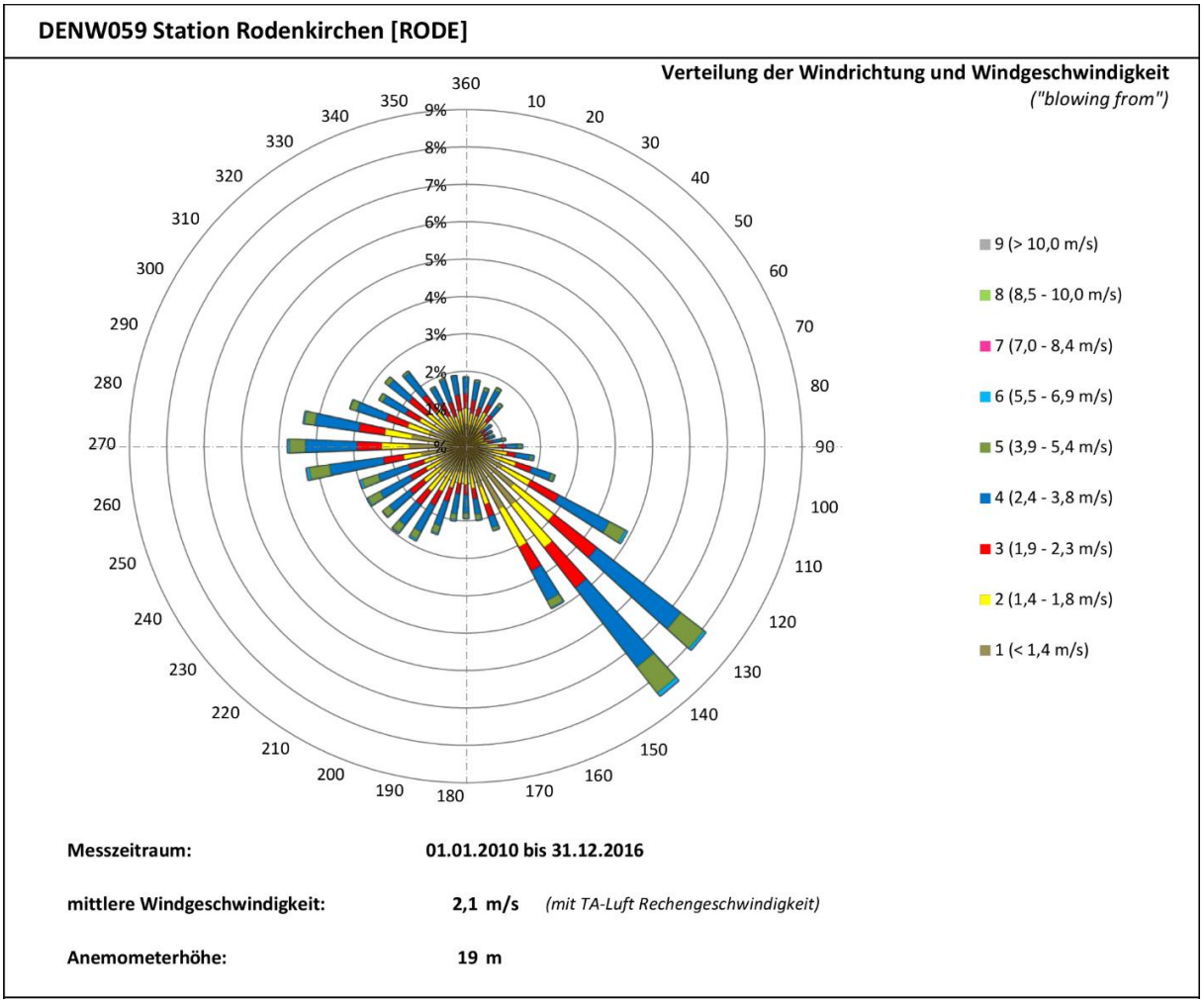


Bild 6.4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Station Köln-Rodenkirchen 2010 – 2016 (Quelle: LANUV NRW)

Hintergrundbelastung

Die Berechnungen mit MISKAM liefern als Ergebnis die durch die Straßenemissionen verursachten Immissionszusatzbelastungen. Die Immissionsgesamtbelastungen ergeben sich durch Überlagerung der berechneten Zusatzbelastung mit der regionalen Hintergrundbelastung außerhalb des eigentlichen Stadtgebietes sowie der städtischen Hintergrundbelastung, der durch Gewerbe, Hausbrand und Industrie sowie die Kfz-Immissionen außerhalb des zu betrachtenden Untersuchungsgebietes bestimmt wird. Die Ermittlung der Hintergrundbelastungswerte für NO_2, erfolgt in Anlehnung an die Vorgehensweise des LANUV. Basis ist das Bezugsjahr 2015.

Der regionale Hintergrund wird aus den Messwerten der Hintergrundstationen des Rhein-Ruhr-Gebietes ermittelt, und zwar den Stationen

- Wesel-Feldmark (WESW)
- Hattingen-Blankenstein (HATT)

- Datteln-Hagem (DATT)
- Düsseldorf-Lörick (LOER)
- Köln-Chorweiler (CHOR)
- Hürth (HUE2).

Die gesamtstädtische NO_2-Hintergrundbelastung wurde in Abstimmung mit dem LANUVauf Basis von berechneten Daten zur städtischen und gemessenen Daten zur regionalen Hintergrundbelastung, die vom LANUV bereitgestellt wurden, festgelegt.

Für die nächsten Jahre ist von einer leichten Reduktion auszugehen. Dies zeigen Auswertungen der Trends und Berechnungen des LANUV. Für die Entwicklung der gesamtstädtischen Hintergrundbelastung in den hier zu betrachtenden Bezugsjahren 2017 und 2020 werden die in Tab. 6.1 aufgeführten Werte für NO_2 zugrunde gelegt.

Tab. 6.1: Gesamtstädtische Hintergrundbelastung – Jahresmittelwerte für NO_2

Jahr	**NO_2 HG**
	[µg/m³]
2015	31,1
2016	30,7
2017	30,2
2018	29,7
2019	29,3
2020	28,9

Ermittlung der Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung

Mit den charakteristischen Werten für die städtische Hintergrundbelastung werden, wie vorab beschrieben, durch Überlagerung mit den für die einzelnen Untersuchungsgebiete mit dem Detailmodell MISKAM berechneten Zusatzbelastungswerten die statistischen Kenngrößen (Jahresmittelwerte für NO_2) der Gesamtbelastung berechnet. Bei der Überlagerung der Hintergrundbelastungswerte mit den Zusatzbelastungswerten wird bei Stickoxiden zusätzlich die NO-NO_2-Konversion berücksichtigt.

Zwischen NO_x und NO_2 besteht wegen der Ozonchemie kein linearer Zusammenhang. Die chemische Umwandlung von NO_X nach NO_2 ist äußerst komplex und von einer Reihe von Parametern wie z.B. UV-Strahlung, Ozonwert, Temperatur abhängig. Stand der Technik war es bisher, die Umwandlung mittels des empirischen Modells von Romberg /ROMBERG 1996/, welches den NO-NO_2-Umwandlungsgrad als Funktion der NO_X-Gesamtimmission beschreibt, zu bestimmen. Diese empirische Beziehung wurde aus Messdaten Mitte der 1990er Jahre abgeleitet.

In den letzten Jahren hat der Anteil der NO_2-Direktemissionen des Straßenverkehrs, was auch Auswirkungen auf die Umwandlung von NO_X zu NO_2 hat, deutlich zugenommen. Unter-

suchungen zeigen, dass der Romberg-Ansatz die Immissionskonzentrationen für Werte im Bereich des Grenzwertes befriedigend genau wiedergibt. Bei höheren Konzentrationen werden mit dem Romberg-Ansatz gegenüber Ansätzen mit Berücksichtigung einfacher Ozonchemie niedrigere NO_2-Konzentrationen berechnet. Für die vorliegende Untersuchung wird für die Umwandlung der empirische Modellansatz nach /DÜRING 2011/ herangezogen, der den NO-NO_2-Umwandlungsgrad als Funktion der NO_X-Gesamtimmission und der O_3-Hintergrundkonzentration beschreibt. Wie bereits erwähnt wird dabei der für das Stadtgebiet Köln mit EURAD-IM berechnete Ozonwert zugrunde gelegt.

Berechnung von Kurzzeitwerten der Gesamtbelastung

Die 39. BImSchV [6], deren Grenzwerte für die Immissionsbeurteilung relevant sind, enthält neben dem Immissionsgrenzwert für den Jahresmittelwert von NO_2 auch einen Immissionsgrenzwert für den Kurzzeitwert (Mittelungszeit 1 Stunde) von NO_2, der nicht öfter als 18 mal im Kalenderjahr überschritten werden darf (entspricht einem 99,8 %-Wert).

Eine korrekte Berechnung eines 1-h-Kurzzeitwertes erfordert für einen identischen Zeitraum eine meteorologische Zeitreihe, Zeitreihen der Stundenmittelwerte der Hintergrundbelastung sowie detaillierte, möglichst stundenfeine Information bzgl. des Verkehrsablaufs. Diese Datengrundlage ist wenn überhaupt nur für einen zurückliegenden Zeitraum vorhanden. Eine Prognose dieser zeitabhängigen Parameter für einen zukünftigen Zeitraum ist eher spekulativ.

Allerdings ist es durchaus möglich, auf Basis der Höhe des Jahresmittelwertes Rückschlüsse auf eine mögliche Überschreitung des NO_2-Kurzzeitwertes zu ziehen. Aus den in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2008 gemessenen NO_2-Stundenmittelwerten und NO_2-Jahresmittelwerten lässt sich zumindest ableiten, dass bei einem Jahresmittelwert unter 60 µg/m³ der Kurzzeitgrenzwert sicher eingehalten wird, wohingegen bei Jahresmittelwerten über 80 µg/m³ von Überschreitungen des Kurzzeit-Grenzwertes ausgegangen werden muss /LUBW 2011/.

6.5 Ergebnis der Immissionsberechnungen

Analysejahr 2017 und Vergleich mit Messungen

Die flächig mit dem Detailmodell MISKAM berechneten Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung für NO_2 für die drei Untersuchungsgebiete sind in Bild 6.5 bis Bild 6.7 für das Analysejahr 2017 dargestellt. Die Farbskala der Abbildungen ist so gewählt, dass Überschreitungen des geltenden Grenzwertes für den Jahresmittelwert in Orange- und Rottönen erscheinen. Die Bezugshöhen in der Abbildung entspricht mit ca. 1,5 m über Grund etwa der Atemzone nach 39. BImSchV.

Es zeigen sich im Bereich des Straßenraums in der unmittelbaren Umgebung der Messstandorte für das Analysejahr 2017 deutliche Überschreitungen des NO_2-Jahresmittelwertes von 40 µg/m³. In Bild 6.6 ist zu erkennen, dass in der Parallelstraße zum Clevischen Ring ebenfalls im gebäudenahen Bereich Überschreitungen des NO_2-Grenzwertes zu erwarten sind. In der Luxemburger Straße zeigen sich zudem Überschreitungen des NO_2-Grenzwertes in dem nordöstlichen Kreuzungsbereich.

Direkt an den Messstellen ergeben die Berechnungen in ca. 1,5 m über Grund sowie in Höhe des Lufteinsaugstutzens der Messstation bzw. des Passivsammlers (ca. 2,8 m über Grund an KWEI und VKLS bzw. 3,5 m über Grund an VKCL) die in der Tab. 6.2 angegebenen Jahresmittelwerte. Ebenfalls aufgeführt sind in der Tabelle die für die Jahre 2016 (Stationen KWEI und VKLS) und 2017 (VKCL bis 30.11.2017) gemessenen Jahresmittelwerte.

Die Übereinstimmung zwischen den Messwerten und den berechneten Werten ist als sehr gut zu bezeichnen.

In ca. 1,5 m über Grund, der Bezugshöhe nach 39. BImSchV, liegen die Werte direkt an der Position des Messfühlers infolge einer reduzierten Durchmischung deutlich höher.

Tab. 6.2: Vergleich der für die Analyse 2017 (Szenario I) berechneten NO_2-Jahresmittelwerte an den Luftmessstationen mit den gemessenen Werten 2016.

Berechnete Werte für die Immission					
			berechnete Immissionen ca. 1,5 m Höhe ü.G.	berechnete Immissionen in Messhöhe	gemessene Immissionen 2016
			[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
	Kürzel	Szenario	NO_2 (GB)	NO_2 (GB)	NO_2 (GB)
Aachener Str, Köln-Weiden	KWEI	Ana-2017	55	54	53
Clevischer Ring	VKCL	Ana-2017	69	63	63
Luxemburger Straße	VKLS	Ana-2017	51	49	49

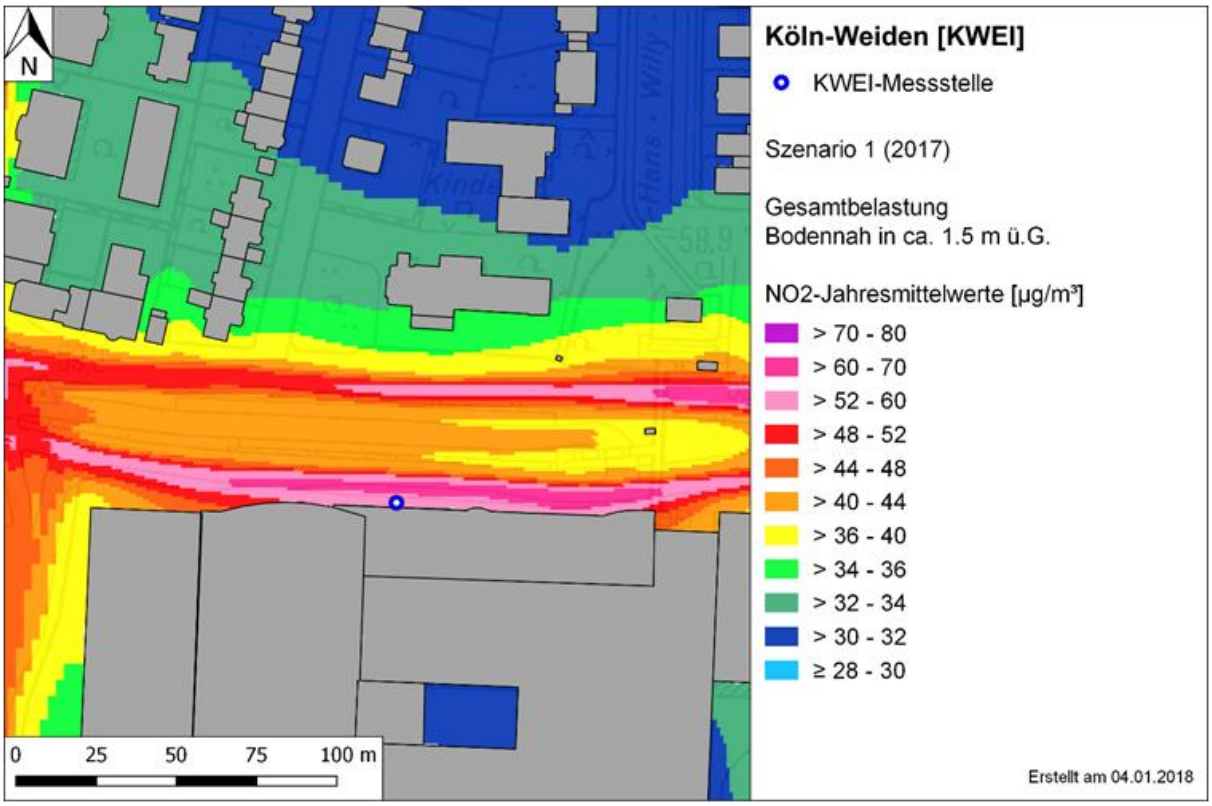


Bild 6.5: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario I (Analysefall 2017)

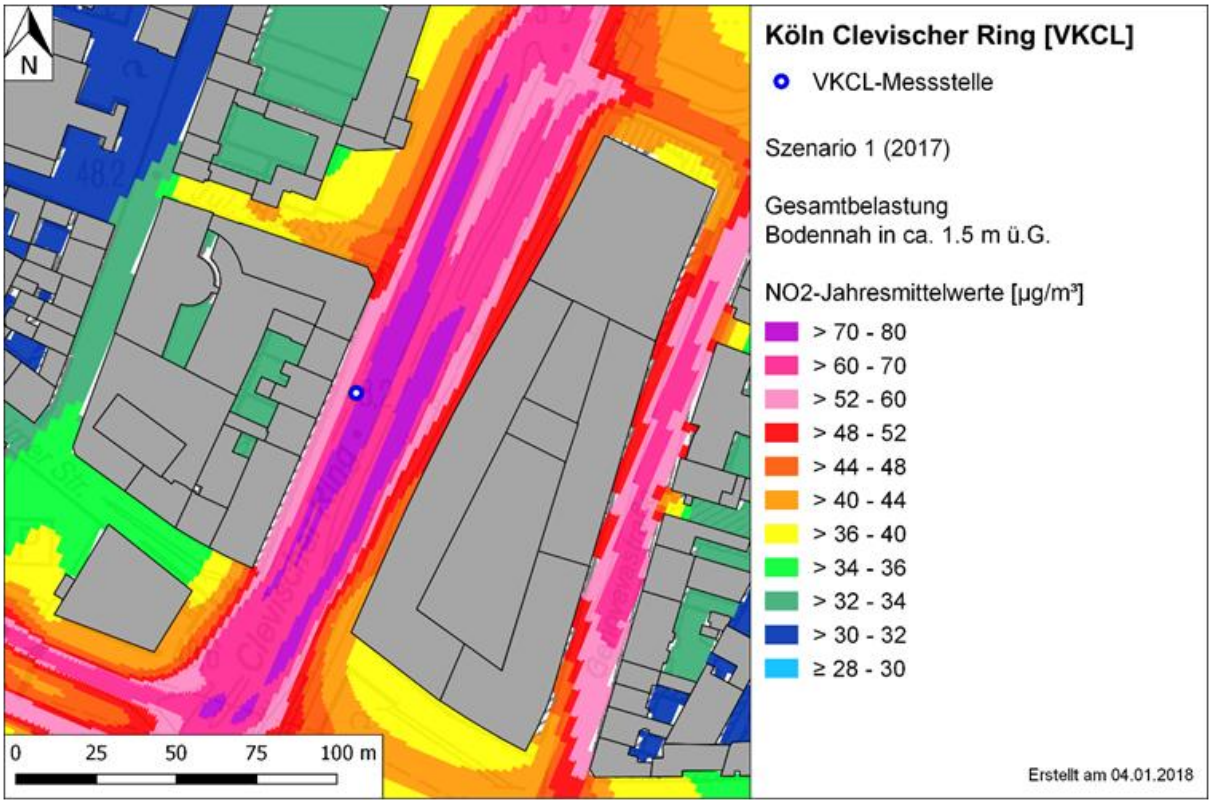


Bild 6.6: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Ring in ca. 1,5 m Höhe über Grund, Szenario I (Analysefall 2017)

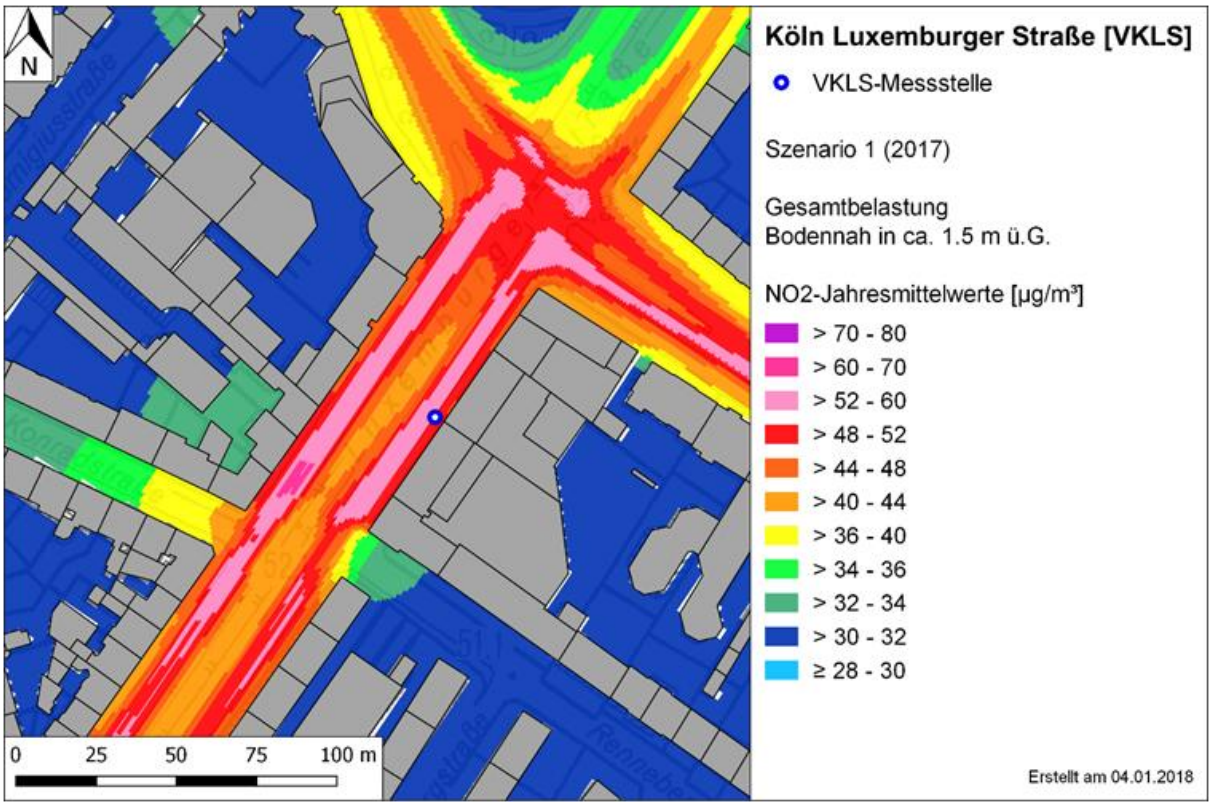


Bild 6.7: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca. 1,5 m Höhe über Grund, Szenario I (Analysefall 2017)

Ergebnisse für die Szenarien

In der Tab. 6.3 sind die Ergebnisse der Szenarien I bis V tabellarisch an der Position der Messeinrichtung für die nach 39. BImSchV übliche Auswertehöhe von 1,5 m sowie die tatsächliche Höhe der Einsaugstutzens bzw. des Passivsammlers dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die Maßnahme blaue Umweltzone 2017 (Szenario IV) an keinem der drei Standorte der Grenzwert von 40 µg/m^3 erreicht wird. Die jahresmittleren NO_2-Konzentrationen liegen für die Aachener Straße in Köln-Weiden bei 44 µg/m³, den Clevischer Ring bei 51 µg/m³ und die Luxemburger Straße bei 43 µg/m³.

Dagegen wird für das Jahr 2020 für die Maßnahme blaue Umweltzone sowohl für die Aachener Straße in Köln-Weiden als auch für die Luxemburger Straße mit 39 µg/m³ die Einhaltung des NO_2-Grenwzertes prognostiziert. Für den Clevischen Ring ergibt sich weiterhin mit 45 µg/m³ eine Überschreitung des NO_2-Grenzwertes.

Tab. 6.3: Berechnete NO_2-Jahresmittelwerte an den Standorten der Luftmessstationen für die Szenarien I bis V

Berechnete Werte für die Immission				
			berechnete Immissionen 1,5m Höhe ü.G. [µg/m³]	berechnete Immissionen in Messhöhe [µg/m³]
Kürzel	Szenario		NO_2 (GB)	NO_2 (GB)
KWEI	I	Ana-2017	55	54
KWEI	II	Trend-2020	47	46
KWEI	IV	bl.UZ-2017	44	44
KWEI	IV	bl.UZ-2020	40	39
KWEI	V	DVB-2017	46	45
KWEI	V	DVB-2020	41	40
VKCL	I	Ana-2017	69	63
VKCL	II	Trend-2020	59	55
VKCL	IV	bl.UZ-2017	54	51
VKCL	IV	bl.UZ-2020	48	45
VKCL	V	DVB-2017	56	52
VKCL	V	DVB-2020	47	44
VKLS	I	Ana-2017	51	49
VKLS	II	Trend-2020	46	44
VKLS	IV	bl.UZ-2017	45	43
VKLS	IV	bl.UZ-2020	41	39
VKLS	V	DVB-2017	41	40
VKLS	V	DVB-2020	38	37

Für die Maßnahme Dieselverkehrsverbot 2017 (Szenario V) wird in der Luxemburger Straße bereits im Bezugsjahr 2017 der Grenzwert von 40 µg/m³ in Höhe des Passivsammlers erreicht. Anzumerken ist hierzu, dass in diesem Szenario alle Diesel-Pkw und -lNfz ausgesperrt sind und daher das NO_2/NO_X-Verhältnis der Abgasemissionen deutlich niedriger liegt als in den anderen Szenarien. Die ausgewiesenen NO_X-Emissionen setzen sich stets aus der Summe der NO- und NO_2-Abgasemissionen zusammen. Beide tragen zu den NO_2-Gesamtimmissionen bei, die NO_2-Abgasemissionen vollständig und die NO-Emissionen soweit sie durch photochemische Umwandlungsprozesse in NO_2 umgewandelt werden (Ozon-

chemie). Das Nichtvorhandensein der hohen NO_2-Direktemissionen der Diesel-PKW führt im Szenario V an der Luxemburger Straße für das Jahr 2017 zur Einhaltung des Grenzwertes.

Für die beiden anderen Standorte werden für den Maßnahmenfall Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V) 2017 NO_2-Jahresmittelwerte von 45 µg/m³ bzw. 52 µg/m³ prognostiziert.

Für das Jahr 2020 werden wie bereits für die Maßnahme blaue Umweltzone sowohl für die Aachener Straße als auch für die Luxemburger Straße NO_2-Immissionen prognostiziert, die bei maximal 40 µg/m³ liegen, d.h. es wird die Einhaltung des NO_2-Grenzwertes prognostiziert. Dagegen liegt die NO_2-Immissionsbelastung für die Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung 2020 am Clevischen Ring noch bei 44 µg/m³, d.h. über dem NO_2-Grenzwert von 40 µg/m³.

Szenario III ist in Tab. 6.3 nicht explizit aufgeführt, da dies das Szenario ist, für das die erforderliche Reduktion der NO_X-Emissionen bzw. der Verkehrsbelastung zur Einhaltung des Grenzwertes für die jahresmittleren NO_2-Konzentrationen ermittelt wurde. Für dieses Szenario ist damit die jahresmittlere NO_2-Immission auf 40 µg/m³ am Messstandort festgesetzt.

Im Anhang sind für die Szenarien II, IV und V (Trendprognose 2020, blaue Umweltzone 2017 und Dieselverkehrsbeschränkung 2017) die flächig ermittelten Immissionskonzentrationen in ca. 1,5 m über Grund für alle drei Untersuchungsgebiete dargestellt.

7 Ergänzende Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen

In Ergänzung zur Ermittlung der NO_2-Wirkungspotenziale der blauen Umweltzone (Szenario IV) und der Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V) wurden für weitere Maßnahmen Abschätzungen auf Basis von Literaturwerten vorgenommen. Die Minderungspotenziale wurden jeweils auf Basis von Analogieschlüssen bzw. anhand von Auswertungen der allgemein zur Verfügung stehenden Fachliteratur abgeschätzt.

Fokus lag dabei auf der Abschätzung der Minderungspotenziale für die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs. Für einige Beispiele waren aber nur Angaben zu den Minderungspotenzialen der NO_2-Immissionsbelastung angegeben, so dass in diesen Fällen auch nur diese Angaben aufgeführt werden konnten.

Es werden hier für die Maßnahmenkategorien Verkehrsverflüssigung (Szenario VI), Verkehrsvermeidung/-verlagerung (Szenario VII), in der Nacht wirkende Maßnahmen (Szenario VIII) und Elektromobilität (Szenario IX) ausgewählte Beispiele aus der Literatur näher erläutert. Die einzelnen Maßnahmen werden jeweils einer der genannten Kategorien zugeordnet, auch wenn diese möglicherweise mehreren Kategorein zugeordnet werden könnten (z.B. kann die umweltsensitive Verkehrsteuerung zur Verkehrsverflüssigung (Szenario VI) beitragen, aber auch zur Verkehrsverlagerung (Szenario VII)).

Als wichtige aktuelle Datenquellen sind hier neben MARLIS und verschiedenen Detailuntersuchungen für ausgewählte Maßnahmen und Städte vor allem das Gesamtwirkungsgutachten zur Fortschreibung des LRP Stuttgart, die Fachgutachten für den modellhaften LRP Reutlingen und die 2. Fortschreibung des LRP Hamburg zu nennen, die alle im Jahr 2017 veröffentlicht wurden und für die zur Ermittlung der Wirkungen einzelner Maßnahmen umfangreiche Modellrechnungen mit den jeweiligen Verkehrsmodellen der Städte und geeigneten Emissions- und Immissionsmodellen durchgeführt wurden. Entsprechend werden dort nicht nur die Wirkungen an den Hotspots betrachtet, sondern das gesamte relevante Straßennetz der Städte. So konnten auch ggfs. negative Wirkungen an anderen Streckenabschnitten, verursacht durch Verlagerungseffekte ermittelt werden.

Auf Basis der Ergebnisse der Literaturrecherche wurde eine grobe Einschätzung eines möglicherweise an anderen Hotspots zu erreichenden Wirkungspotenzials durchgeführt.

Es ist dabei zu beachten, dass es sich hier um erste Wirkungsabschätzungen auf Basis von Analogieschlüssen handelt. Diese können die individuellen Gegebenheiten der hier betrachteten drei Standorte nicht berücksichtigen. Eine belastbare, detaillierte Ermittlung des NO_2-Minderungspotenzials für einzelne Hotspots bedarf zusätzlich detaillierter Datenerhebungen und/oder Modellberechnungen, um z.B. die verkehrlichen Wirkungen mit einem Verkehrsmodell in geeigneter Form zu quantifizieren.

7.1 Verkehrsverflüssigung (Szenario VI)

Von allen Verkehrssituationen sind die Fahrzeugemissionen im Stau/zähfließendem Verkehr (Stop&Go) am höchsten. Deshalb können die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs durch den Abbau von Staus deutlich gemindert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte das Wirkungspotenzial verflüssigender Maßnahmen wie optimiertes Routing, Zuflussregulierung durch Pförtnerampeln sowie Geschwindigkeitsbeschränkungen recherchiert werden.

1. Optimiertes Routing gegen Stop&Go

Aktuelle Navigationssysteme oder auch im Internet verfügbare Routenplaner wie z.B. google maps berücksichtigen bereits die aktuelle Verkehrslage bei der Routenwahl. Informationen zur Verkehrslage auf BAB sind für die meisten Streckenabschnitte verfügbar, innerorts ist die Informationslage jedoch nicht optimal.

Für Köln gibt es im Internet unter www.offenedaten-koeln.de den Verkehrskalender der Stadt Köln, der fünf- bis zehnminütlich aktualisiert jeweils Echtzeit-Daten zur Verkehrslage auf den wichtigsten Ausfall- und Ringstraßen in Köln angibt. Das Streckennetz ist in Bild 7.1 dargestellt. Die Strecken entlang der Belastungsschwerpunkte am Clevischen Ring und auf der Luxemburger Straße sind in diesem Netz enthalten.

Die Nutzung solcher Daten kann zu einem optimierten Routing und weniger Staus führen und entsprechend auch die Luftschadstoffbelastungen aus dem Straßenverkehr reduzieren. Entsprechende Untersuchungen zur Wirkung auf die Luftqualität – gesamtstädtisch oder auch an einzelnen Belastungsschwerpunkten – liegen nicht vor. Wirkungsabschätzungen können über die mögliche Reduktion von Fahrleistungsanteilen im Stop&Go erfolgen.

In /AVISO 2012a/ wurde für die Gladbecker Straße in Essen gezeigt, dass die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs um **ca. 10%** gemindert werden können, wenn die stündlichen Störungsgrade dahingehend verändert werden, dass nur noch die Störungsgrade „frei“ und „dicht“ auftreten und die Störungsgrade „gesättigt“ oder „Stop and Go“ nicht mehr vorkommen. Emissionsminderungen in dieser Größenordnung sind zu erwarten, wenn es gelingt, durch optimiertes Routing Stausituationen zu vermeiden.

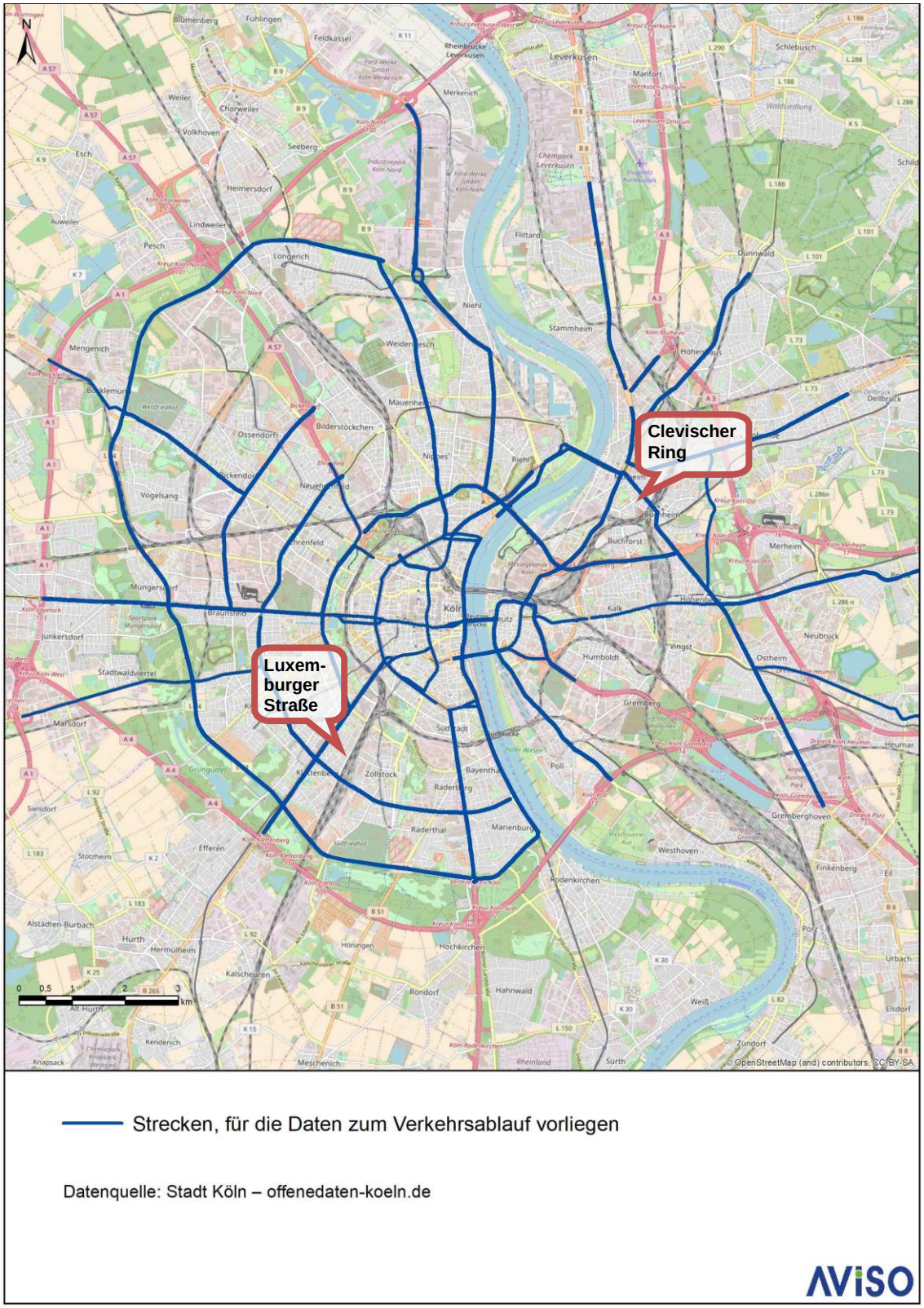


Bild 7.1: Streckennetz Köln, auf dem unter www.offenedaten-koeln.de Echtzeit-Daten zum Verkehrsablauf vorliegen

2. Zuflussregulierung

Wenn auf einem Streckenzug die Luftqualität z.B. aufgrund schlechter Durchlüftung bei beidseitig geschlossener Bebauung besonders schlecht ist, kann durch die Installation einer Pförtnerampel der Zufluss auf diesen Streckenzug reguliert werden. Eine Koordination der Pförtnerampel mit den nachfolgenden LSA auf dem Streckenzug bewirkt, dass die Fahrzeuge „im Pulk“ gleichmäßig durch den kritischen Bereich geleitet werden. Im Fall eines Staus wird dieser durch die Pförtnerampel nicht verhindert, sondern in einen aus lufthygienischer Sicht weniger kritischen Bereich verlagert. Optimal wirken kann eine Pförtnerampel somit an Standorten, die nicht zu weit vom kritischen Bereich entfernt liegen (sonst ist der Fahrzeugpulk bereits wieder auseinander gelaufen), und hinter denen ein weniger kritischer Bereich liegt, in den der Stau verlagert werden kann (weniger dichte Bebauung, kein Tunnel, …).

Wenn die Schaltung einer Pförtnerampel nur während immissionsseitig kritischer Zeiträume erfolgt, dann ist sie Bestandteil einer umweltsensitiven Verkehrssteuerung (vgl. Kap. 7.2).

Beispiele für die Ermittlung des Wirkungspotenzials einer Pförtnerung sind:

- In /AVISO 2015/ wurde auf Basis von Messfahrten die Wirkung verschiedener Maßnahmen auf der Kölner Straße in Mülheim an der Ruhr untersucht, unter anderem die Wirkung einer Pförtnerampel. Als Maximalwirkung einer Verflüssigung wurde durch Auswertung der vollständig störungsfreien Messfahrten ein Minderungspotenzial für die verkehrsbedingten NO_X-Emissionen von **ca. 25%** ermittelt. Dies entspricht dem Fall eines zu allen Tageszeiten völlig frei fließenden Verkehrs und ist so nicht realisierbar. Durch Installation einer Pförtnerampel hätte an der Kölner Straße mit einer Minderung von **ca. 13%** etwa die Hälfte dieses Potenzials ausgeschöpft werden können. Eine Pförtnerampel am Ortseingang konnte an dieser Strecke jedoch nicht realisiert werden, weil ein potenzieller Rückstau bis zur Autobahnanschlussstelle der A52 nicht ausgeschlossen werden konnte.
- Für den Clevischen Ring in Köln wurde von /IVU 2010/ ein Minderungspotenzial der NO_X-Emissionen des Verkehrs durch Verflüssigung von **bis zu 24%** ermittelt. Dies entspricht dem für Mülheim gefundenen Maximalpotenzial und wird aber ähnlich wie in Mülheim nicht als in vollem Umfang durch Pförtnerung/Zuflussdosierung realisierbar eingeschätzt. Zudem ist zu beachten, dass die Aussagen für den Clevischen Ring auf Basis von Modellberechnungen erfolgten. Es handelte sich dabei um Voruntersuchungen im Hinblick auf die mögliche Einrichtung einer umweltsensitiven Verkehrssteuerung (vgl. Kap. 7.2).

3. Geschwindigkeitsreduzierung (Tempo 30 (T30) / Tempo 40 (T40))

Die Wirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung von **T30** auf Hauptverkehrsstraßen auf die Lärmemissionen des Straßenverkehrs ist eindeutig positiv, die Wirkung auf die NO_X-Emissionen kann positiv oder negativ sein. Bei konstant gefahrener Geschwindigkeit in der Ebene sind die Emissionen bei T30 höher als bei T50. Bei einem Tempolimit von T30 entfallen jedoch die Beschleunigungsphasen zwischen T30 und T50, da die Zielgeschwindigkeit

eher erreicht ist. Die Emissionen in Beschleunigungsphasen sind höher als bei konstanter Fahrt oder in Bremsphasen. Tendenziell ergeben sich damit für T30 gegenüber T50 für die NO_X-Emissionen dann mindernde Effekte, wenn der Verkehrsfluss unstetig oder die Längsneigung (Gefälle der Straße) hoch ist. Die Wirkung eines Tempolimits von T30 hängt damit von der individuellen Strecke ab, wie folgende Untersuchungsergebnisse zeigen:

Untersuchungen auf der Basis von Messfahrten:

- Baden-Württemberg: Von /AVISO 2012b/ wurden bei Messfahrten in 13 Kommunen Baden-Württembergs als Wirkungen zum Teil leichte Zunahmen, in den meisten Fällen Minderungen der NO_X-Emissionen zwischen **1%** und **8%** gefunden.
- Stuttgart: Von /TÜV Nord 2011/ wurden bei Messfahrten in Stuttgart mit Ausnahme der Steigungsstrecken Zunahmen der NO_X-Emissionen gefunden.
- Mülheim a.d.R.: Auf der Kölner Straße in Mülheim a.d.R. wurden von /AVISO 2015/ Minderungen von **7%** gefunden.

Auswertungen auf Basis von Zeitreihen von Immissionsmessungen vor und nach Einführung von T30:

- Berlin: Bis 2009 wurde T30 in einem Teil des Hauptverkehrsstraßennetzes eingeführt. Ein Vergleich der Luftqualität an drei Hauptverkehrsstraßen mit T30 und Hauptverkehrsstraßen mit T50 zeigt über einen Zeitraum von drei Jahren vor und nach Einführung Minderungen von **5-10 µg/m³** NO_2 durch T30. /RAUTERBERG 2015/

Untersuchung auf Basis von Verkehrsmodellberechnungen:

- Hamburg: In /HAMBURG 2017/ werden Ergebnisse entsprechender Modellberechnungen ausgewiesen, wobei diese überwiegend auf den ermittelten Verlagerungseffekten beruhen. Es wird für den betrachteten Hotspot bei Einführung von T30 statt T50 eine Verkehrsreduktion von ca. 5% prognostiziert und entsprechend leichte Verkehrszunahmen in den umliegenden Hauptstraßen. Die immissionsseitige Minderungen für die entlasteten Hotspots liegen im Bereich von **1-2 µg/m³.**

Für all diese Fälle gilt, dass die Wirkung von T30 stark von den lokalen Randbedingungen abhängt und daher eine direkte Übertragung auf andere Standorte ohne die detaillierte Erfassung von Daten (z.B. über Messfahrten) nicht möglich ist.

Die Wirkung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf Hauptverkehrsstraßen von **T40** wurde seltener untersucht als von T30. Mögliche negative und mögliche positive Effekte gegenüber T50 sind jeweils etwas geringer. Es gibt Hinweise, dass in Summe die Wirkung von T40 auf die NO_X-Emissionen positiver ist als die von T30.

- Stuttgart: Auf der Hohenheimer Straße in Stuttgart (Längsneigung: fast 7%) wurde im Herbst 2012 T40 eingeführt, in Kombination mit einer Anpassung der „Grünen Welle“ und einer Änderung der Parkzeitregelung (Parkmöglichkeit auf der rechten Spur erst nach vollständigem Abklingen der abendlichen Verkehrsspitze um 21:00 Uhr gestattet, vorher war dies ab 19:00 Uhr möglich). Das Gesamtpaket dieser Maßnahmen

führte im Folgejahr zu einer Minderung der NO_2-Belastung um **12%**, während im gleichen Zeitraum „Am Neckartor“ nur eine Minderung um 1% gemessen wurde /Scholz et al. 2014/. Die Wirkung von T40 als Einzelmaßnahme lässt sich daraus nicht ableiten.

- Tübingen: Für ein Einbahnstraßensystem im Zentrum von Tübingen (Kelternstraße, Am Stadtgraben, Wilhelmstraße, Mohlstraße, Haußerstraße, Hölderlinstraße, Rümelinstraße) wurde die Wirkung von T40 im Vergleich mit T30 untersucht. Es wurden Minderungen der NO_X-Emissionen bei T40 im Vergleich mit T30 von **3 bis 4%** gefunden /Rau 2013/.

Fazit

Die in der Literatur gefundenen und als realistisch angesehenen Minderungswirkungen auf die verkehrsbedingten NO_X-Emissionen liegen für das optimierte Routing bei bis zu 10% und für eine permanente Zuflussregulierung durch eine Pförtnerampel etwas darüber.

Die Wirkung eines Tempolimits von 30 km/h ist stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig und kann zwischen leichten Emissionszunahmen und Abnahmen bis zu 8% liegen. Zu einem Tempolimit von 40 km/h liegen weniger Untersuchungen vor, die Wirkung ist tendenziell etwas günstiger als bei 30 km/h.

Insgesamt ist dabei zu beachten, dass die Maßnahmen teilweise auf das gleiche Wirkungspotenzial abzielen und daher in ihrer Wirkung nicht addiert werden können. Für eine konkrete Quantifizierung des Wirkungspotenzials an den betrachteten Belastungsschwerpunkten in Köln müssten zunächst umfangreiche Datenerhebungen erfolgen. Auch ist es im Rahmen solcher Untersuchungen sinnvoll, abhängig von der lokalen Situation, mögliche unerwünschte Verlagerungseffekte z.B. mit Hilfe von Verkehrsmodellberechnungen zu analysieren.

7.2 Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung (Szenario VII)

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu Maßnahmen beschrieben, die zu einer Vermeidung oder Verlagerung von Verkehr führen können.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollten Aussagen zur Wirkungspotenzialen von selektiven Fahrverboten (z.B. Kennzeichen gesteuerte Zufahrt oder umweltgesteuerte Verkehrslenkung in Abhängigkeit an Tagen mit hoher erwarteter Schadstoffbelastung) sowie von Verkehrsverlagerungen auf andere Verkehrsmittel durch Erhöhung der Kosten für den MIV (Parkraumbewirtschaftung) und durch die Attraktivierung des Umweltverbunds recherchiert werden.

1. Kennzeichen gesteuerte Zufahrt

In Paris, Athen, Mexico City oder auch in verschiedenen Städten in China gibt es die Regelung, dass in Smogepisoden ein alternierendes Fahrverbot in Bezug auf die Fahrzeugkennzeichen ausgesprochen wird, je nachdem ob die Endziffer gerade oder ungerade ist.

Auf Basis der Erfahrungen in diesen Städten wurde für Stuttgart untersucht, welche Auswirkungen eine solche Regelung auf die NO_X-Emissionen im Stuttgarter Talkessel haben würde /AVISO 2017a/. Modellrechnungen zeigten, dass bei einem alternierenden Fahrverbot, das sich auf den Stuttgarter Talkessel bezieht, die Verkehrsbelastung und auch die verkehrsbedingten NO_X-Emissionen im Talkessel an Feinstaub-Alarmtagen nicht um 50% (Reduzierung der Fahrzeuge um die Hälfte), sondern nur um ca. **25%** reduziert würden.

Eine Verkehrsmodellierung zeigte im Talkessel eine signifikante Zunahme von Wegen im Umweltverbund. Diese kompensieren teilweise die Abnahmen von Fahrten im Pkw-Verkehr. Der größte Zugewinn ist im Fußverkehr zu verzeichnen. Es ist davon auszugehen, dass vor allem kürzere innerstädtische Wege im Maßnahmenfall nicht mehr mit dem Pkw sondern zu Fuß bewältigt werden. Weitere signifikante Zunahmen ergeben sich in den wegebezogenen Modal Split Anteilen für den ÖV sowie den Radverkehr. Außerdem kommt es durch Ausweichverkehr zu geringen Zunahmen des MIV außerhalb des Stuttgarter Talkessels.

Die Untersuchung für Stuttgart bezog sich auf Feinstaub-Alarmtage, da in Stuttgart durch eine solche Maßnahme die Anzahl der Tage reduziert werden soll, an denen der Grenzwert für den Tagesmittelwert von PM10 von 50 µg/m^3 überschritten wird (maximal erlaubt sind 35 Tage). Es muss davon ausgegangen werden, dass der Minderungseffekt deutlich geringer ausfällt, wenn die Maßnahme nicht nur an ausgewählten immissionsseitig ungünstigen Tagen greift, da die Fahrzeughalter dann mit entsprechenden Anpassungsstrategien reagieren.

In Köln wird dieser PM10-Grenzwert nirgendwo an mehr als 35 Tagen überschritten, hier sind Maßnahmen zur Senkung des NO_2-Jahresmittelwerts gefragt. Trotzdem kann eine temporäre Regelung sinnvoll sein, die an Tagen mit besonders hoher Belastung greift und damit den Jahresmittelwert überproportional beeinflusst. Denkbar wäre die Definition eines Schwellenwerts, bei dessen prognostizierter Überschreitung ein alternierendes Fahrverbot greift.

Die Auswirkungen alternierender Fahrverbote auf den NO_2 Jahresmittelwert hängen davon ab, an wie vielen Tagen pro Jahr solche Verbote tatsächlich ausgesprochen werden.

2. Umweltsensitive Verkehrssteuerung

Unter diesem Titel werden verkehrslenkende Maßnahmen zusammengefasst, die nicht permanent in Kraft sind, sondern in Abhängigkeit von aktuell auftretenden oder prognostizierten Belastungsspitzen dynamisch als kurzfristige temporäre Eingriffe in den Verkehrsablauf die Immissionsbelastungen an den Hot Spots senken sollen. Solche Eingriffe umfassen z.B.:

- Lkw-Fahrverbote,
- Umlenkung von Verkehrsströmen durch Signalisierungen mittels Lichtsignalanlagen oder „Schilderbrücken“,

- Veränderung des Grünbandes zu Lasten der Wartezeit/des Verkehrsflusses auf Querstraßen und ggf. in der Gegenrichtung,
- Verbesserungen im Verkehrsablauf für den MIV auf Kosten anderer Verkehrsträger (ÖPNV, Radverkehr, Fußverkehr).
  Um kontraproduktive Verschiebungen des modal split zugunsten des MIV zu vermeiden, ist das Ziel nicht eine dauerhafte Verflüssigung des Verkehrsablaufs für den MIV, sondern nur temporär zu Zeiten ungünstiger meteorologischer Bedingungen oder bereits erhöhter Schadstoffbelastungen.

Wesentliche Voraussetzung für die Realisierung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagementsystems ist die Möglichkeit der Verknüpfung der städtischen Verkehrsleitzentrale mit einem System, dass kontinuierlich auf Basis aktueller Luftmessdaten und bestimmten Auslösekriterien die entsprechenden Eingriffe schaltet. In Köln ist ein entsprechendes System am Clevischen Ring seit Mitte 2017 im Testbetrieb.

Für Berlin, Hagen, Braunschweig, Essen, Wittenberg, Halle/Saale, Erfurt, Köln, Frankfurt/Oder, Rostock und Potsdam gab es Wirkungsuntersuchungen hinsichtlich verschiedener Maßnahmen zur umweltsensitiven Verkehrssteuerung. Es handelt sich dabei häufig um einfache Systeme, wie z.B. eine temporäre Lkw-Sperrung. Im Rahmen eines aktuell laufenden Forschungsprojekts der BASt sollen bestehende Systeme dargestellt, ausgewertet und bewertet werden /BASt 2017a/, hierzu liegen noch keine Ergebnisse vor.

Im Folgenden werden beispielhaft einzelne bereits bestehende Systeme vorgestellt:

- Seit September 2010 gibt es in Hagen eine „Dynamische Verkehrslenkung“ für Lkw auf dem Märkischen Ring im Bereich des Finanzamts. In Abhängigkeit von NO_2-Immission, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Tageszeit kann an Werktagen ein mindestens dreistündiges Lkw-Durchfahrtsverbot ausgelöst werden. Entsprechende Schilder werden automatisch geschaltet. Seit 2012 ist in Fahrtrichtung Rathausstraße eine spezielle Überwachungsanlage installiert. Im Jahr 2015 wurden an 137 Tagen für insgesamt 1.136 Stunden Sperrungen ausgelöst. Die Befolgungsrate für das Lkw-Durchfahrtsverbot lag in der überwachten Fahrtrichtung zwischen 21% und 32% und in der nicht-überwachten Fahrtrichtung zwischen 15% und 31%. Eine signifikante Reduktion konnte nicht festgestellt werden, nur minimale Absenkungen. Es wurde daher vorgeschlagen, die Maßnahme permanent zu schalten.
- In Graz wurde im Rahmen eines Feldversuchs eine verkehrsadaptive (abhängige) LSA-Steuerung an einem Streckenzug getestet (GAVe, Grazer Adaptive Verkehrssteuerung). Sie war im Gegensatz zur umweltsensitiven Verkehrssteuerung permanent aktiv. Im Versuchsergebnis wurden dabei Reduktionen der (auf Basis von Fahrprofilen mit dem Modell PHEM modellierten) NO_X-Emissionen um **10%** gefunden /TU Graz 2009/. Letztendlich wurde die adaptive LSA-Steuerung jedoch nicht dauerhaft übernommen, da sie nicht mit der Bevorzugung des ÖPNV vereinbar war.
- In Erfurt gibt es zwei Pilotvorhaben zur umweltorientierten Verkehrssteuerung: Auf der Bergstraße wird eine optimierte Koordinierung und auf der Leipziger Straße eine

Zuflussdosierung jeweils in kritischen Umweltsituationen aktiv geschaltet. Erste Auswertungen zeigen eine Minderung der verkehrsbedingten NO_X-Emissionen

- an der Bergstraße durch die umweltorientierte Verkehrssteuerung im Vergleich mit der bestehenden LSA-Koordinierung von ca. **5%** und
- an der Leipziger Straße durch die Zuflussdosierung von ca. **23%** (lokal an der Messstation) bzw. von ca. **6%** auf dem gesamten Streckenzug,

jeweils während die Systeme aktiv geschaltet sind /BASt 2017b/.

- Auch am Clevischen Ring in Köln ist ein System zur umweltgesteuerten Verkehrslenkung seit Mitte 2017 im Testbetrieb. Daten zu den Auswirkungen auf die NO_X-Emissionen oder die NO_2-Belastungen im realen Testbetrieb konnten von der Stadt noch nicht zur Verfügung gestellt werden. Das System wird nach Auskunft der Stadt Köln aktiv, wenn der Stundenmittelwert von NO_2 an der Messstation über 100 µg/m^3 liegt. Im Jahr 2016 hätte dies 736 Stunden betroffen.
  Damit eine signifikante Minderungswirkung durch solch ein System erzielt werden kann, sollte es an möglichst vielen Stunden im Jahr geschaltet sein, d.h. der Auslösewert sollte möglichst niedrig sein.

Die Bandbreite möglicher umweltsensitiver Verkehrsmanagementsysteme ist, wie oben aufgezeigt, sehr groß. Für jeden Standort muss eine individuelle Betrachtung erfolgen und eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte ist nicht möglich. Um das Wirkungspotenzial eines umweltsensitiven Verkehrsmanagementsystems belastbar zu ermitteln, sind aufwändige Modellrechnungen bzw. eine intensive Begleitung mit umfassender kontinuierlicher Datenerfassung bei bereits umgesetzten Maßnahmen notwendig.

3. Gesamtstädtische Parkraumbewirtschaftung und seine Kontrolle

Nach Untersuchungen in den USA ist der Parksuchverkehr für bis zu 30 % des Verkehrs in städtischen Ballungsräumen verantwortlich /Shoup 2011/. Es ist zu erwarten, dass die Situation in deutschen Ballungsräumen ähnlich ist. Durch ein optimiertes Parkleitsystem / Parkraummanagement kann eine deutliche Reduktion des innerstädtischen Parksuchverkehrs erwartet werden.

Im Rahmen des Fachgutachtens „Modellstadt Reutlingen“ /AVISO 2017b/ wurden die emissions- und immissionsseitigen Wirkungen einer Vielzahl von Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität untersucht, u.a. auch die eines verbesserten Parkraummanagements. Für die Verkehrsmodellierung wurden folgende Aspekte berücksichtigt: Erweiterung der Parkraumbewirtschaftung, Anpassung der Parkgebühren (höhere Gebühren im Straßenraum im Vergleich zum Parkhaus), Anpassung Stellplatzsatzung, Reduzierung der oberirdischen Stellplätze, Änderung der Zielwahl zu Parkierungseinrichtungen, Verringerung der Zufahrtswege sowie zusätzliche Angebote in den Parkhäusern (Fahrradabstellanlagen, Schließfächer, Ladestationen usw.). Je nach Umsetzungsintensität ergaben die Modellrechnungen für Reutlingen zwischen **1%** und **5%** Minderung der NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs durch ein solches Maßnahmenpaket.

Zur belastbaren quantitativen Wirkungsermittlung solcher Maßnahmen müssen Modellberechnungen durchgeführt werden, die die lokalen Verhältnisse der betrachteten Stadt geeignet abbilden (Verkehrsmodell), um die Wirkungen von Änderungen bei der Parkraumbewirtschaftung auf die Verkehrsbelsatungen gesamtstädtisch und an den Hotspots zu ermitteln.

4. B+R und P+R-Großanlagen

Bike and Ride (B+R) oder Park and Ride (P+R) Anlagen bieten eine Verknüpfung verschiedener Verkehrsträger (Bahn, Pkw, Fahrrad) und unterstützen damit die Kombination mehrerer Verkehrsmoden auf einer Strecke (Multi-Modalität). Die Wirkung von einzelnen B+R oder P+R Anlagen auf den Modal Split hängt von der individuellen Größe und Lage ab und lässt sich nicht verallgemeinern.

Eine signifikante Verschiebung des Modal Split vom MIV zum Radverkehr oder zum ÖPNV ist nicht durch den Bau einzelner Parkplätze, sondern nur durch die Kombination einer Vielzahl von Maßnahmen zur Förderung dieser Verkehrsträger erreichbar.

Für eine theoretische Potenzialabschätzung wurde angenommen, dass jeweils täglich 500 Pkw-Fahrten im Bereich der Hotspots durch den Bau einer P+R-Großanlage entfallen. Dies führt bei den NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs zu maximale Emissionsminderungen von ca. 1%.

5. Förderung Umweltverbund

Nach den von der TU Dresden regelmäßig durchgeführten Erhebungen zur Mobilität in Städten /TU Dresden 2015/ liegt der Fußwegeanteil in Großstädten in NRW bezogen auf die Wegehäufigkeit im Mittel bei ca. 29%, der Radverkehrsanteil bei ca. 13%, der MIV-Anteil bei 44% und der Anteil des ÖPNV bei 14%. Durch eine Steigerung des Radverkehrsanteils auf 25% zulasten des MIV (idealer modal split) ließen sich in NRW gesamt die innerörtlichen Emissionen des Straßenverkehrs um ca. **10%** senken. Dies ist als ein Maximalpotenzial zu verstehen und kann nur durch ein Gesamtpaket vieler Einzelmaßnahmen ausgeschöpft werden. Dabei ist zu beachten, dass sich Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs und zur Förderung des ÖPNV konkurrierend an dieselbe Zielgruppe richten.

Im Rahmen der Erstellung des Fachgutachtens „Modellstadt Reutlingen“ /AVISO 2017b/ wurde daher die Wirkung eines Gesamtpakets von Maßnahmen zur Förderung des Umweltverbunds untersucht. Dieses Paket umfasst folgende Maßnahmen:

- Fußverkehr:
    - Hauptfußwegenetz mit verbesserten Querungsmöglichkeiten,
    - Berücksichtigung der Ergebnisse eines zuvor durchgeführten „Fußverkehrschecks“ zu Aufenthaltsqualität, Barrierefreiheit, Signalanlagen,
    - Verbesserung der Überquerbarkeit der Straßen zur Innenstadt,
    - Fußgängerleitsystem (Innenstadt),
- Radverkehr:

  - Umsetzung des Masterplanes Radverkehr „e-bike-city Reutlingen“ (Netzplanung, Radschnellwege, Leihfahrradsystem, Abstellanlagen, verbesserte Radmitnahme im ÖPNV),
  - Umsetzung der Maßnahmen des VEP-Entwurfs (Ertüchtigung der zentralen Achsen, Verbesserung der Querungsmöglichkeiten, Öffnung von Einbahnstraßen in Gegenrichtung, Radwegweisung, Ladestationen, Marketing),
- ÖPNV:
  - Taktverdichtung,
  - zusätzliche Linien,
  - bessere Anbindung der Haltepunkte,
  - zusätzliche Busspuren,
  - Anpassungen im Tarifsystem (z.B. Bürgerticket, Kurzstreckenticket),
- Verstärkung aller Maßnahmen durch Angebote zur Mobilitätsberatung und Öffentlichkeitsarbeit seitens der Stadt.

Je nach Umsetzungsintensität wurden für dieses Gesamtpaket Minderungen der straßenverkehrsbedingten NO_X-Emissionen im Stadtgebiet von Reutlingen zwischen **ca. 4%** und **ca. 7%** ermittelt. Für einzelne Straßenabschnitte kann dies sehr unterschiedlich ausfallen, da die Wirkung vor allem davon abhängt, ob sich lokale Veränderungen des MIV ergeben. Der Zeithorizont für solche Maßnahmen ist als mittel- oder langfristig anzusehen.

Auch im Gesamtwirkungsgutachten Stuttgart wurde ein Maßnahmen-Modul Stärkung des Umweltverbundes untersucht. Die ermittelten Reduktionen der NO_X-Emissionen des Straßenverkehrsliegen für das Stadtgebiet liegen je nach Ausprägung der Maßnahmen zwischen **0% und 2%.**

In der aktuellen Fortschreibung des LRP Hamburg /HAMBURG 2017/ werden die Maßnahmenpakete Ausbau ÖPNV, Förderung Radverkehr und intermodale Angebote und Mobilitätsmanagement einzeln bewertet. Die damit erzielbaren NO_2-Minderungspotenziale an den Hotspots liegen pro Maßnahmenpaket im Bereich von **0-1,8 µg/m³**, sind aber nicht addierbar, da sich die Wirkungen der verschiedenen Maßnahmen überlappen und in Kombination nur in Teilbeträgen wirksam werden.

Auch in Köln gibt es Pläne zur Erhöhung des Radverkehrsanteils am Modal Split. In Bild 7.2 sind die geplanten Vorrang-Strecken für Rad- und Fußverkehr in der Kölner Innenstadt dargestellt. Um die real an einzelnen Hotspots erzielbaren Wirkung nach der Umsetzung dieses Konzeptes auf die Emissionen des Straßenverkehrs zu ermitteln, wären Berechnungen mit dem Verkehrsmodell der Stadt Köln notwendig, um streckenbezogen Aussagen dazu zu erhalten, welche Änderung sich für die Verkehrsbelastung des MIV ergibt.

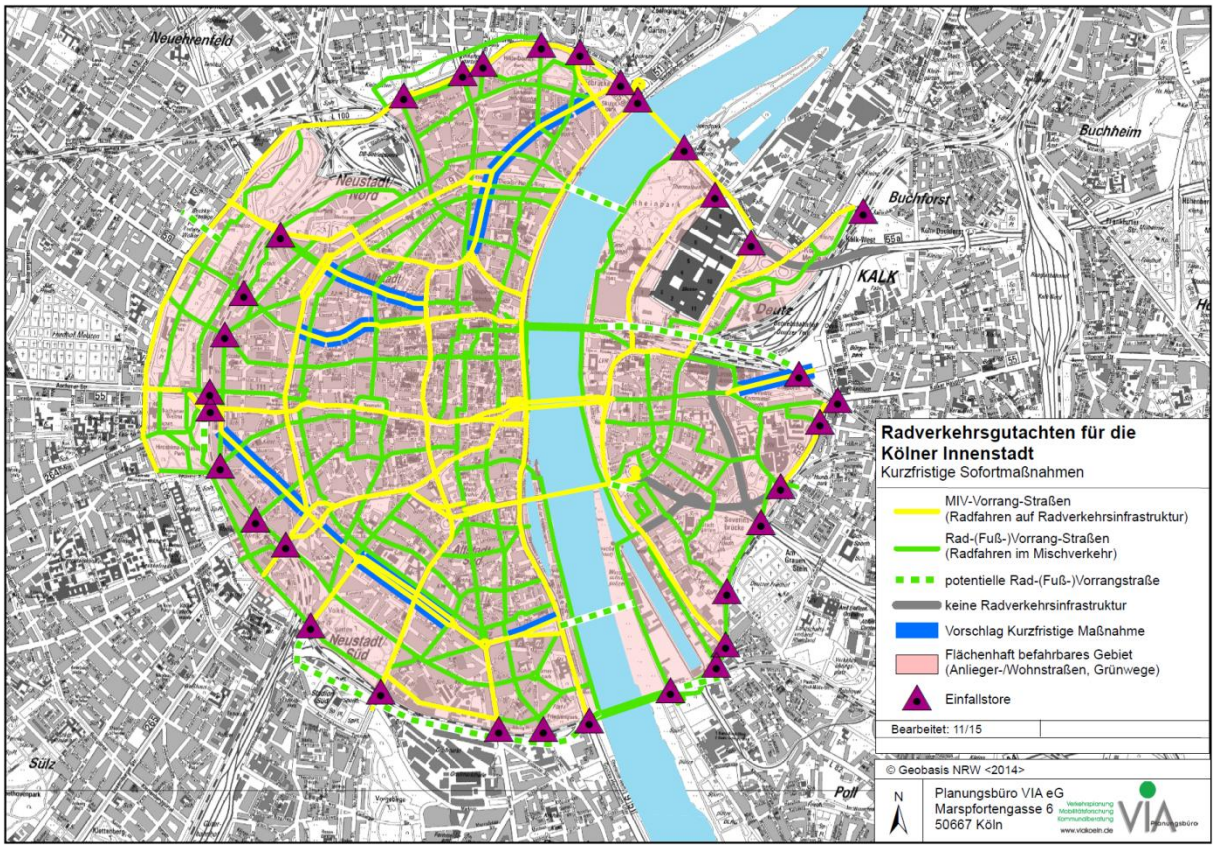


Bild 7.2: Radverkehrsgutachten für die Kölner Innenstadt, mit Kennzeichnung der Vorrangstraßen des MIV, der Vorrangstraßen für den Rad- und Fußverkehr und der sogenannten Einfallstore für den Radverkehr in die Kölner Innenstadt, Quelle: Stadt Köln 2017

Fazit

Die in der Literatur gefundenen und als realistisch bis maximal angesehenen Minderungswirkungen auf die straßenverkehrsbedingten NO_X-Emissionen liegen für die kennzeichengesteuerte Zufahrt (alternierendes Fahrverbot für gerade bzw. ungerade Kennzeichen) bei ca. 25%, jeweils an den Tagen, an denen ein solches Fahrverbot gilt. Das Fahrverbot gilt hierbei unabhängig vom Emissionsverhalten der Fahrzeuge, d.h. auch saubere Fahrzeuge sind davon betroffen. Für eine permanente Regelung werden aufgrund von Anpassungsstrategien deutlich geringere Wirkungen erwartet.

Für Systeme zum umweltsensitiven Verkehrsmanagement wird eine Minderung von ca. 10% (GAVe) als realistisch angesehen, ebenfalls bezogen auf den Zeitraum, in dem ein solches System aktiv geschaltet ist.

Durch ein gesamtstädtisches Konzept zur Parkraumbewirtschaftung in Kombination mit einem optimierten Parkleitsystem kann der Parksuchverkehr reduziert und der Modal Split zugunsten des Umweltverbunds beeinflusst werden. Je nach Umsetzungsintensität können dadurch Minderungen der straßenverkehrsbedingten NO_X-Emissionen zwischen 1% und 5% erreicht werden.

Für B+R bzw. P+R-Großanlagen wird als Maximalabschätzung eine Minderung der straßenverkehrsbedingten NO_X-Emissionen von ca. 1% abgeleitet.

Durch ein ambitioniertes Gesamtpaket zur Förderung des Umweltverbunds können stärkere Emissionsminderungen (bis zu 7%) erreicht werden, wie Modellrechnungen für Reutlingen zeigen, wobei der Zeithorizont für die Umsetzung bei mittel- bis langfristig liegt. Eine quantifizierte Wirkungsermittlung für Köln müsste auf entsprechend detaillierten Berechnungen mit dem Verkehrsmodell der Stadt Köln aufbauen.

7.3 Nächtlich wirkende Maßnahmen (Szenario VIII)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollten auch spezielle Maßnahmen recherchiert werden, die ausschließlich in der Nacht wirken.

1. Nächtliches Abschalten der LSA-Steuerung

In der Nacht ist die Verkehrsbelastung im Vergleich zum Tag deutlich verringert. Es stellt sich daher die Frage, inwieweit der Abbau von „unnötigen" Wartezeiten an Lichtsignalanlagen einen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität liefern kann.

Eine Abschätzung zum nächtlichen Abschalten der LSA-Steuerung wurde in /AVISO 2012a/ für die Gladbecker Straße in Essen durchgeführt. Dabei wurde in einer theoretischen Betrachtung angenommen, dass die nächtliche verkehrsbedingte Zusatzbelastung im Zeitbereich zwischen 22:00 Uhr und 6:00 Uhr durch eine solche Maßnahme halbiert wird. Es wurde dazu jeweils die nächtliche Zusatzbelastung um 50% der Differenz zwischen den stündlichen Messwerte am Belastungsschwerpunkt und der passenden Hintergrundstation gemindert und unter diesen Randbedingungen ein Minderungspotenzial von **2 µg/m³** ermittelt. Es wurde bei dieser theoretischen Betrachtung davon ausgegangen wurde, dass die verflüssigenden Effekte der LSA-Abschaltung eine Reduktion der NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs in den nächtlichen Stunden von über 50% bewirken.

In Abschnitt 7.1 wurde für einen typischen realen Verkehrsablauf einschließlich morgendlicher und abendlicher Verkehrsspitze durch Verflüssigung ein maximales Minderungspotenzial von ca. 25% gefunden. Vor dem Hintergrund, dass der Verkehrsablauf bei Nacht ohnehin relativ flüssig ist, wird für eine Verflüssigung in der Nacht ein deutlich geringeres Minderungspotenzial – wenn überhaupt – gesehen.

Für eine entsprechende theoretische Betrachtung für Köln können die vorliegenden kontinuierlichen Messdaten 2016 am Clevischen Ring und als Hintergrundmessstation die Station Rodenkirchen herangezogen werden (Bild 7.3). Bei einer Minderung der nächtlichen Zusatzbelastung um 12% ergibt sich eine Reduktion des NO_2-Jahresmittelwerts durch nächtliches Abschalten der LSA um **0,6 µg/m³** bzw. um **0,9%**.

2. Vollständiges nächtliches Fahrverbot

Geht man von einem vollständigen nächtlichen Fahrverbot aus und ermittelt die Wirkung analog zu der Abschaltung der LSA (vgl. oben), dann entfällt maximal die gesamte nächtliche Zusatzbelastung. Für den Clevischen Ring ergibt sich unter diesen maximalen Randbedingungen eine Minderung des NO_2-Jahresmittelwerts um knapp **5 µg/m³** bzw. um fast **8%**. Dies ist als eine theoretisch maximal erzielbare Minderung anzusehen.

Eine Umsetzung eines vollständigen nächtlichen Fahrverbots zwischen 22:00 und 6:00 Uhr wird auf den betrachteten Hauptverkehrsstraßen jedoch nicht als realistisch angesehen.

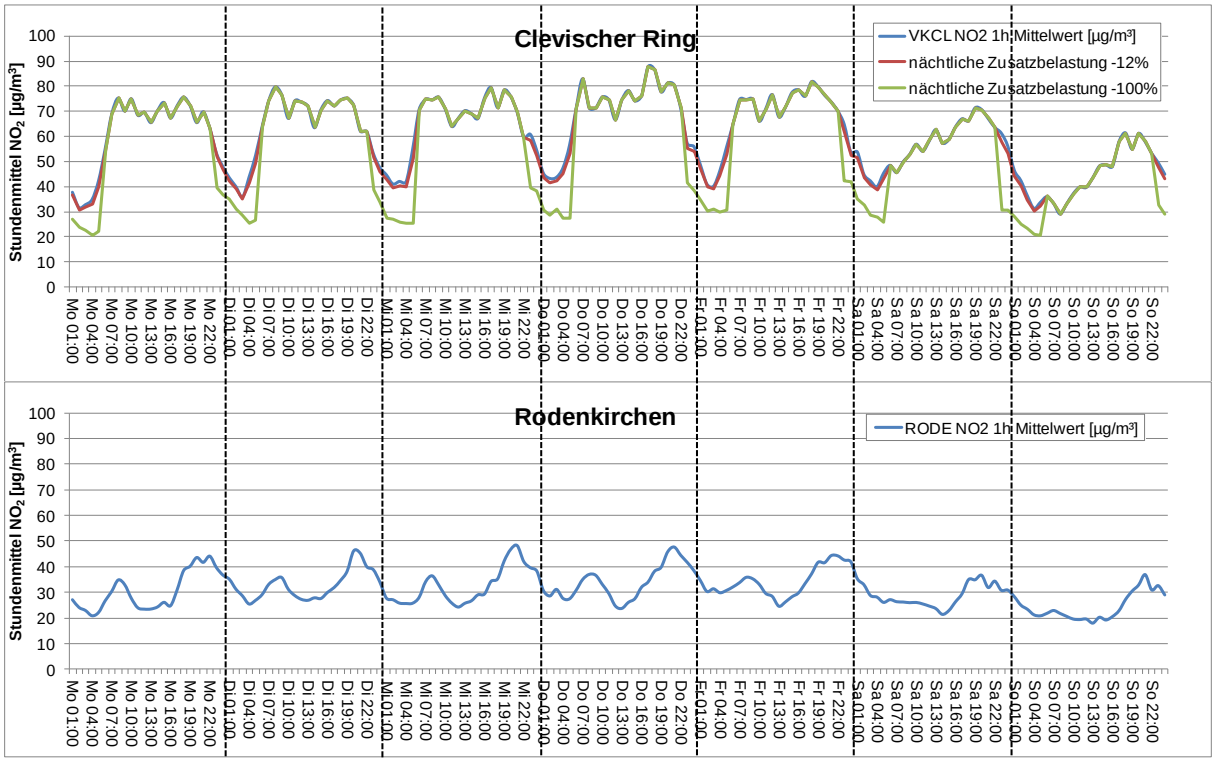


Bild 7.3: Mittlere Tages- und Wochengänge der NO_2-Konzentrationen 2016 am Clevischen Ring (VKCL) und im städtischen Hintergrund in Rodenkirchen (RODE) sowie Annahmen zur Reduktion durch nächtliche LSA-Abschaltung; Datenquelle: LANUV NRW, OpenKontiLUQS

3. Nächtliches Tempolimit von 30 km/h

Ein nächtliches Tempolimit von 30 km/h kann aus Lärmschutz-Gründen sinnvoll sein. In der Nacht ist der Verkehrsablauf i.d.R. flüssig. Emissionsseitig sind in diesem Fall bei einer Einführung von T30 eher leichte Zunahmen der NO_X-Emissionen zu erwarten. Angesichts der in der Nacht geringen Verkehrsbelastung werden diese jedoch als gering angesehen. Bei einem Tempolimit von T40 können solche Zunahmen vermieden werden, die Lärm-Minderung ist jedoch auch geringer.

Fazit

Für die Wirkung eines nächtlichen Abschaltens der LSA auf die Emissionen des Straßenverkehrs wurde im Rahmen einer theoretischen Betrachtung eine Minderung der NO_2-Immissionsbelastung von ca. 1% abgeschätzt, ein vollständiges nächtliches Fahrverbot hätte eine stärkere Minderungswirkung zur Folge, wird jedoch nicht als realistisch umsetzbar angesehen.

Ein nächtliches Tempolimit von 30 km/h kann aus Lärmschutzgründen eingeführt werden, für die NO_X-Emissionen sind jedoch geringe Zunahmen zu erwarten.

7.4 Elektromobilität (Szenario IX)

Abschließend werden noch Wirkungspotenziale von Maßnahmen aus dem Bereich Elektromobilität betrachtet. Es wird abgeschätzt, wie stark die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs durch den Ersatz konventioneller Antriebe durch Elektro-Antriebe oder andere Antriebe ohne lokale motorbedingte Emissionen (z.B. Wasserstoff, Brennstoffzellen) gemindert werden können.

Ein sehr wichtiger Aspekt ist hier der Zeithorizont der Umsetzung, der mit mittel- bis langfristig anzusetzen ist, bis ein nennenswerter Anteil der Flotte elektrisch angetrieben wird.

1. **Elektrifizierung einzelner Nutzergruppen**

Im Dokumentationsteil zum Gesamtwirkungsgutachten zum Luftreinhalteplan Stuttgart /AVISO 2017c/ wird ausgewiesen, wie hoch die Fahrleistung verschiedener förderbarer Nutzergruppen an der Gesamtfahrleistung der jeweiligen Fahrzeugarten im Stadtgebiet von Stuttgart ist:

- Pkw: Taxis tragen zur Pkw-Fahrleistung mit ca. 1,5% bei, Pflegedienste mit ca. 0,4% und Car-Sharing-Fahrzeuge mit ca. 0,8%,
- lNfz: KEP (Kurier, Express, Paket)-Dienste tragen zur Fahrleistung der lNfz mit ca. 4,7% bei,
- sNoB (schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse): Fahrzeuge der Abfallwirtschaft und Reinigungsmaschinen tragen zur Fahrleistung der sNoB zusammen mit ca. 0,3% bei.

Geht man davon aus, dass die Verhältnisse auch auf Köln übertragen werden können, da es sich in beiden Fällen um bedeutende Großstädte mit weitläufigem Einzugsgebiet handelt und unterstellt man eine vollständige Elektrifizierung dieser Fahrleistungsanteile, dann reduzieren sich die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs wie in Tab. 7.1 ausgewiesen nur geringfügig. Dabei ist zu beachten, dass die vollständige Elektrifizierung dieser Fahrleistungsanteile nicht kurzfristig zu erwarten ist.

Tab. 7.1: Anteile der Fahrzeuge verschiedener Nutzergruppen an den NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs in Köln, Basisjahr: 2017

	Anteil an NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs
Taxis	ca. 1%
Pflegedienste	< 1%
KEP-Dienste ("Innenstadt")	< 1%
Car-Sharing	< 1%
Abfallwirtschaft +Reinigungsmaschinen	< 1%

Im der Fortschreibung des LRP Hamburg /HAMBURG 2017/ wird für das Maßnahmenpaket Elektromobilität eine Zunahme der Fahrleistung von Elektrofahrzeuge von +450% abgeschätzt, die zu einer Reduktion der NO_2-Immissionen an den Hotspots im Bereich von **0,2 – 0,3 µg/m³** führt.

Die Beiträge der Busse an den drei betrachteten Belastungsschwerpunkten in Köln sind bekannt. An der Luxemburger Straße fahren keine Linienbusse. Am Clevischen Ring oder in Köln-Weiden liegen die durch die vollständige Elektrifizierung erzielbaren Minderungen der verkehrsbedingten NO_X-Emissionen bei ca. **9%** bzw. fast **16%**.

2. Elektrifizierung durch Kaufanreize

An allen drei Belastungsschwerpunkten leisten die Pkw die höchsten Beiträge zu den Kfz-Emissionen. Aktuell ist der Anteil der Elektro-Pkw in Köln gering, eine KBA-Sonderauswertung vom 01.01.2017 ergab für die Pkw einen Anteil von 0,14% und für die lNfz einen Anteil von 0,7% Elektrofahrzeugen an der innerstädtischen Fahrleistung /LANUV 2017/. Die Kennzeichenerfassung ergab mit Werten zwischen 0,03% und 0,05% für die Pkw und Werten zwischen 0,08% und 0,77% für die lNfz sogar etwas geringere Anteile.

Als Folge bestehender Förderprogramme des Landes NRW und des Bundes (Kaufanreize für Fahrzeuge und Ladesäulen, Förderung öffentlicher Ladestationen, Vorrang-Regelungen) wird eine Steigerung dieser Anteile erwartet, in der Untersuchung zur Fortschreibung des LRP Köln wurde für das Jahr 2020 ein Anteil von 1% Elektro-Pkw und 2% Elektro-lNfz an der innerstädtischen Fahrleistung angesetzt. Durch zusätzliche Kaufanreize kann der Anteil der Elektro-Fahrzeuge schneller erhöht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der Regel der Kauf eines Elektroautos alternativ zum Kauf eines konventionellen Fahrzeugs erfolgt: Fahrzeughalter, die sich ohnehin ein neues Fahrzeug zulegen wollen, entscheiden sich aufgrund der Prämie für ein Elektroauto. Dadurch ersetzen Elektrofahrzeuge in der Flotte nicht die hoch emittierenden Fahrzeuge niedriger Euronorm-Stufen (diese würden durch die natürliche Flottenentwicklung ohnehin ersetzt), sondern geringer emittierende Fahrzeuge hoher Euronorm-Stufen.

Für Reutlingen wurde die Wirkung zusätzlicher Kaufanreize auf die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs untersucht /AVISO 2017b/. Für das Jahr 2020 wurde als Referenz (ohne zusätzliche Maßnahmen) ein Anteil elektrischer Fahrleistung von 1,1% bei den Pkw und 2,2% bei den lNfz prognostizert. Eine Verdoppelung dieser Anteile durch zusätzliche Fördermaßnahmen würde gegenüber der Referenz im Jahr 2020 zu Reduktionen der NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs im Stadtgebiet von Reutlingen von ca. **0,4%** führen. Dieser Wert ist nicht direkt mit den in Tab. 7.1 ausgewiesenen Werten vergleichbar, da es sich dort um Maximalpotenziale handelt (Minderungen bei vollständiger Elektrifizierung der angegebenen Nutzergruppen).

Fazit

Durch eine vollständige Elektrifizierung der Linienbusse Clevischen Ring oder in Köln-Weiden (am Luxemburger Ring fahren keine Linienbusse) können Minderungen der straßenverkehrsbedingten NO_X-Emissionen von ca. 9% bzw. ca. 16% erzielt werden.

Bei den anderen förderbaren Nutzergruppen können durch kurzfristige Maßnahmen im Vergleich damit nur geringe Minderungswirkungen erzielt werden.

Größere Potenziale liegen in der langfristige Entwicklung, da dann mit deutlich höheren Anteil von Elektrofahrzeuge zu rechnen ist.

7.5 Vergleich der Minderungswirkungen

In Tab. 7.2 werden die in diesem Kapitel auf Basis einer Literaturrecherche geschätzten Wirkungen von Maßnahmen zur Minderung der verkehrsbedingten NO_X-Emissionen verglichen. Ergänzend ist auch der Umsetzungszeithorizont mit aufgeführt und gekennzeichnet, ob es sich um lokal oder flächig wirkenden Maßnahmen handelt.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die meisten dieser Maßnahmen nicht kurzfristig umzusetzen sind und dass das Minderungspotenzial der einzelnen Maßnahmen an individuellen Straßenabschnitten in der Bandbreite von keine Wirkung bis zu ca. 25% Minderungspotenzial liegt.

Zu beachten ist dabei, dass die Wirkungen von Einzelmaßnahmen nicht addiert werden können, um die Wirkung von Kombimaßnahmen zu ermitteln. So können verschiedene Maßnahmen auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen und daher kann bei Kombination mehrere Maßnahmen das Minderungspotenzial nicht einfach aufaddiert werden.

Beim Vergleich der Minderungswirkungen ist außerdem zu beachten, dass es sich zum Teil um Maximalpotenziale handelt. Die tatsächlich kurz- oder mittelfristig zu realisierenden Potenziale liegen teilweise deutlich niedriger. Weiterhin wirken die Maßnahmen zum Teil nur lokal an den Belastungsschwerpunkten, zum Teil flächig im Stadtgebiet. Bei permanent wirk-

samen Maßnahmen bezieht sich die in Tab. 7.2 ausgewiesene Wirkung auf den Jahresmittelwert. Temporäre Maßnahmen (z.B. Kennzeichen gesteuerte Zufahrt und umweltsenstive Verkehrslenkung) wirken in den Zeiten, in denen die Maßnahmen aktiv geschaltet sind, daher ist die Wirkung auf den Jahresmittelwert deutlich geringer.

Einen direkte Übertragung der Minderungspotenziale auf die drei Belastungsschwerpunkte in Köln ist (bis auf die Elektrifizierung der Linienbusse) nicht möglich, da es sich bei den in Tab. 7.2 aufgeführten Minderungspotenzialen um Minderungen handelt, die im Rahmen von detaillierten Untersuchungen für konkrete Belastungsschwerpunkte ermittelt wurden, die jeweils durch lokale Randbedingungen geprägt sind. Unter anderen Randbedingungen könnten die Wirkungen möglicherweise auch deutlich geringer ausfallen.

Um eine Quantifizierung der Minderungspotenziale entsprechender Maßnahmen für die drei Hotspots in Köln durchzuführen, wären umfangreiche Untersuchungen notwendig. Es müssten detaillierte Datenerhebungen und Modellberechnungen durchgeführt werden, um die tatsächlich vorliegenden lokalen Verhältnisse bezüglich des Verkehrsgeschehens im Detail zu erfassen oder um z.B. die Wirkungen von Maßnahmen im Stadtgebiet (d.h. Verkehrsverlagerungen) mit Hilfe eines Verkehrsmodells zu ermitteln.

Tab. 7.2: Vergleich der Maßnahmen, deren Minderungswirkungen auf die verkehrsbedingten NO_X-Emissionen durch Literaturrecherche geschätzt wurden

Maßnahme	Minderung		Art der Wirkung			
	NO_X-Emissionen Straßenverkehr	Umsetzungs-zeithorizont	lokal	Stadt	temp.	JMW
Verkehrsverflüssigung (Szenario VI)						
Optimiertes Routing gegen Stop&Go	bis 10%	mittelfristig		x		x
Zuflussregulierung	ca. 13%	mittelfristig	x			x
Tempolimit von 30 km/h	situationsbedingt Verschlechterung bis zu 8% Minderung	kurzfristig	x			x
Tempolimit von 40 km/h	*wenig vorliegende Messungen, tendenziell etwas günstiger als T30*					
Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung (Szenario VII)						
Kennzeichen gesteuerte Zufahrt	ca. 25%	mittelfristig		x	x	
Umweltsensitives Verkehrsmanagement	von nicht quantifizierbar bis ca. 20% Minderung	mittelfristig	x		x	
Parkraumbewirtschaftung	1% bis 5%	mittelfristig		x		x
B+R u. P+R-Großanlagen (Max'pot.)	ca. 1%	mittelfristig	x			x
Förderung Umweltverbund	2% bis 7%	langfristig		x		x
Elektromobilität (Szenario IX)						
Linienbusse (Maximalpotenzial)	9% (Cl. Ring), 15% (Weiden), 0% (Lux. Str.)	mittel- bis langfristig	x			x
alle sonst. Nutzergruppen (Max'pot.)	ca. 2%	mittel- bis langfristig		x		x
Kaufanreize Pkw und lNfz	< 1%	mittel- bis langfristig		x		x

Für die nächtlich wirkenden Maßnahmen basiert die Abschätzung der Maßnahmenwirkung auf Werten der NO_2-Immissionsbelastungen. In Tab. 7.3 sind die Ergebnisse nochmals zusammenfassend aufgeführt.

Tab. 7.3: Vergleich der nächtlich wirkenden Maßnahmen, deren Minderungswirkungen durch Literaturrecherche geschätzt wurden

Maßnahme	Minderung		Art der Wirkung			
	NO_2-Immission	Umsetzungs-zeithorizont	lokal	Stadt	temp.	JMW
Nächtlich wirkende Maßnahmen (Szenario VIII)						
Nächtl. Abschalten d. LSA-Steuerung	ca. 1%	kurzfristig	x			x
Vollständiges nächtliches Fahrverbot	theoretisch maximal ca. 8%	kurzfristig	x			x
Nächtliches Tempolimit von 30 km/h	*keine Wirkung / leichte Zunahme*					

8 Zusammenfassung Potentialanalyse

Die Ergebnisse der Berechnungen und Abschätzungen zu den Wirkungspotenzialen ausgewählter Maßnahmen zur Minderung der NO_2-Immissionsbelastung an drei Belastungsschwerpunkten in Köln, die in der vorliegenden Untersuchung ermittelt wurden, werden im Folgenden zusammengefasst dargestellt.

Szenario I (Analyse 2017) und Szenario II (Trendprognose 2020)

Ausgangspunkt der Betrachtungen stellt die aktuelle Situation im Analysejahr 2017 und die Trendprognose 2020 dar. Die Trendprognose 2020 beschreibt die Entwicklung unter der Annahme, dass nur die allgemeine kontinuierliche Flottenveränderung berücksichtigt wird (die sich aus den kontinuierlichen Neuzulassungen emissionsärmerer Fahrzeuge und Löschungen von älteren Fahrzeugen ergibt) und keine weiteren Maßnahmen umgesetzt werden.

In Tab. 8.1 sind die Ergebnisse der NO_2-Immissionsberechnungen (vgl. Kap. 6) für die drei Belastungsschwerpunkte in Messhöhe über Grund aufgeführt. Demnach ergibt sich für alle drei Standorte auch für die Trendprognose 2020 noch eine deutliche Überschreitung des Grenzwertes für den NO_2-Jahresmittelwert. Für den Standort Luxemburger Straße werden die geringsten Konzentrationen für 2020 prognostiziert, dort wird mit 44 µg/m³ der NO_2-Grenzwert noch deutlich überschritten.

Tab. 8.1: Berechnete NO_2-Immissionsgesamtbelastungen für die drei Belastungsschwerpunkte, Analyse 2017 (Szenario I) und Trendprognose 2020 (Szenario II)

	Aachener Straße Köln-Weiden	**Clevischer Ring**	**Luxemburger Straße**
berechnete NO_2-Immissionen, Gesamtbelastung in Messhöhe über Grund			
NO_2-Gesamtbelastung 2017 [µg/m³]	54	63	49
NO_2-Gesamtbelastung 2020 [µg/m³]	46	55	44

Szenario III (Verkehrsminderung zur Grenzwerteinhaltung):

Ausgangspunkt für die Berechnung der erforderlichen Verkehrsminderung zur Einhaltung des NO_2-Grenzwertes (Jahresmittel) stellen die für das Analysejahr 2017 und die Trendprognose 2020 ermittelten Konzentrationen dar.

In Form einer Rückrechnung wurden jeweils die erforderlichen NO_X-Emissionen und daraus die erforderliche Reduktion der Verkehrsbelastungen (ohne Busse) ermittelt (vgl. Kap.5.2). Die Ergebnisse sind in Bild 8.1 dargestellt.

Im Analysejahr 2017 liegen die erforderlichen Reduktionen der NO_2-Immissionsbelastungen für die Aachener Straße in Köln-Weiden bei 14 µg/m³, für den Clevischen Ring bei 23 µg/m³ und für die Luxemburger Straße bei 9 µg/m³. Die hierzu erforderlichen Reduktionen der Verkehrsbelastungen liegen für Aachener Straße in Köln-Weiden bei 60%, für den Clevischen Ring bei 75% und für die Luxemburger Straße bei 44%.

Für die Situation der Trendprognose 2020 ergeben sich etwas geringere erforderliche Reduktionen der NO_2-Immissionsbelastungen zwischen 4 µg/m³ und 15 µg/m³ (vgl. Bild 8.2).

Es handelt sich hierbei um eine theoretische Betrachtung. Die sich bei entsprechend drastischen Verkehrsreduktionen an den Belastungsschwerpunkten ergebenen Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen in der Stadt, z.B. Verkehrsverlagerungen und deren Folgen, wurden nicht betrachtet.

Szenario IV (blaue Umweltzone) und Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung):

Für die beiden Maßnahmen blaue Umweltzone (Szenario IV) und Dieselverkehrsbeschränkungen (Szenario V) wurden die Minderungspotenziale berechnet (vgl. Kap.5 und 6).

Im Analysejahr 2017 liegen für die Maßnahme blaue Umweltzone (Szenario IV) die Reduktionen der NO_2-Immissionsbelastung im Bereich von 6 µg/m³ für die Luxemburger Straße und 12 µg/m³ für den Clevischen Ring. Für die Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkungen (Szenario V) liegen die Minderungen der NO_2-Immissionsbelastungen bei 9 µg/m³ an der Aachener Straße und der Luxemburger Straße und 11 µg/m³ am Clevischen Ring.

Insgesamt kann durch beide Maßnahmen eine deutliche Minderung der NO_2-Immissionsbelastung im Analysejahr 2017 erzielt werden, aber in keinem Fall reicht diese aus, den Grenzwert des NO_2-Jahresmittelwertes von 40 µg/m³ einzuhalten. Zur Grenzwerteinhaltung im Analysejahr 2017 ist daher noch die Umsetzung weiterer Maßnahmen erforderlich.

Für das Jahr 2020 werden für die Aachener Straße in Köln-Weiden und die Luxemburger Straße sowohl für die Maßnahme blaue Umweltzone (Szenario IV, 2020) als auch für die Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V, 2020) eine Einhaltung des NO_2-Grenzwertes prognostiziert. Für den Clevischen Ring werden trotz deutlicher Reduktionen mit NO_2-Immissionsbelastungen von 45 bzw. 44 µg/m³ weiterhin NO_2-Grenzwertüberschreitungen für 2020 prognostiziert.

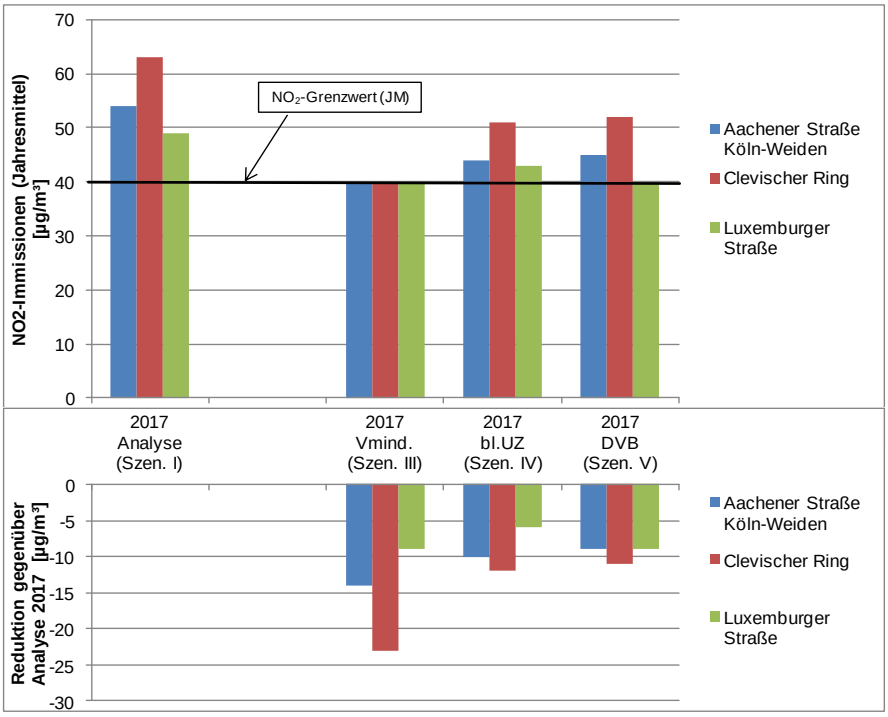


Bild 8.1: Berechnete NO_2-Immissionen in Messhöhe über Grund für Szenario I (Analyse 2017), Szenario III (erforderliche Verkehrsminderung zur Grenzwerteinhaltung 2017), Szenario IV (blaue Umweltzone 2017) und Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017) und berechnete Minderung gegenüber Szenario I

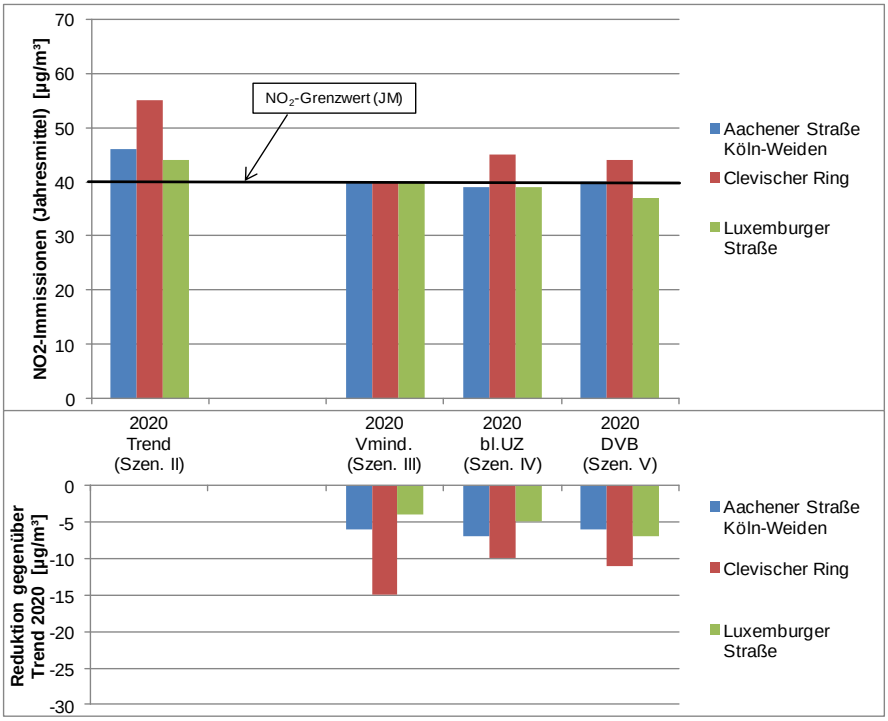


Bild 8.2: Berechnete NO_2-Immissionen in Messhöhe über Grund für Szenario II (Trendprognose 2020, Szenario III (erforderliche Verkehrsminderung zur Grenzwerteinhaltung 2020) Szenario IV (blaue Umweltzone 2020) und Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2020) und berechnete Minderung Szenario II (Trend 2020)

8.1 Weitere Maßnahmen (Szenario VI – IX)

Es wurden in Kap.7 weitere Maßnahmen betrachtet, für die auf Basis von Literaturdaten eine Abschätzung der NO_X-Emissionsminderungspotenziale durchgeführt wurde. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich zum Teil um Maximalpotenziale, zum Teil um realisierbare Wirkungen handelt. Weiterhin wirken die Maßnahmen zum Teil nur lokal an den Belastungsschwerpunkten, zum Teil flächig im Stadtgebiet. Bei permanent wirksamen Maßnahmen bezieht sich die ausgewiesene Wirkung auf das Jahresmittel, bei temporären Maßnahmen (Kennzeichen gesteuerte Zufahrt und umweltgesteuerte Verkehrslenkung) auf die Zeiten, in denen die Maßnahmen aktiv geschaltet sind.

Im Hinblick auf eine Abschätzung der immissionsseitigen Minderungspotenziale auf Basis dieser in Kap.7 dargestellten emissionsseitigen Wirkungspotenziale wurden folgende Annahmen getroffen:

- Flächige Wirkungen im Stadtgebiet wurden auf den Belastungsschwerpunkt übertragen
- Bei einer Bandbreite an in der Literatur gefundenen Minderungswirkungen wurde eine Umsetzungsintensität unterstellt, die ambitioniert, aber prinzipiell realisierbar erscheint.
- Da T30 auch emissionssteigernd wirken kann, wurde hier nur T40 betrachtet.
- Bei der kennzeichengesteuerten Zufahrt werden alternierende Fahrverbote an 50 Tagen im Jahr unterstellt.
- Elektromobilität: Da die Linienbusse in der Verantwortung der Stadt liegen, wurde hier der Einsatz von 100% Elektrobussen an den Belastungsschwerpunkten angesetzt. Bei den sonstigen förderbaren Nutzergruppen (Taxis, Pflegedienste, KEP-Dienste, Car-Sharing, Abfallwirtschaft, Reinigungsmaschinen) wurde ein geringerer Elektro-Anteil von 25% angesetzt.

Zur Abschätzung der immissionsseitigen Wirkung wurde ein einfacher Screening-Ansatz gewählt. Dabei wird angenommen, dass die verkehrliche NO_X-Immissions-Zusatzbelastung am verkehrsbeeinflussten Belastungsschwerpunkt in gleichem Maße gemindert wird wie die NO_X-Emissionen des Straßenverkehrs. Zur Bestimmung der Wirkung auf NO_2 wurde die vereinfachte Ozonchemie nach /Düring et al. 2011/ herangezogen (vgl. Kap.6.4). Ebenso wurden die Hintergrundbelastungswerte analog zu Kap.6.4 angesetzt.

Nur für die Maßnahme Elektrifizierung der Linienbusse konnte die Minderung der NO_X-Emissionen konkret auf Basis der NO_X-Emissionen für das Analysejahr 2017 berechnet werden. Die daraus ermittelten NO_2-Minderungspotenziale sind in Tab. 8.2 ausgewiesen und liegen für die Aachener Straße in Köln Weiden bei 3,1 µg/m³ und für den Clevischen Ring bei 2,6 µg/m³. Auf der Luxemburger Straße findet kein Linienbusverkehr statt.

Tab. 8.2: Abschätzung der emissions- und immissionsseitigen Minderungspotenziale der Maßnahme Elektromobilität Linienbusse bezogen auf den Jahresmittelwert 2017

Maßnahme		Minderungspotenzial		
		NO_X-Jahresemissionen Straßenverkehr, rel.	**NO_2-Immission Jahresmittel, rel.**	**NO_2-Immission Jahresmittel, abs. [µg/m³]**
Elektromobilität Linienbusse (Szenario IX)				
Aachener Straße Köln-Weiden	permanent	15%	5,9%	3,1
Clevischer Ring	permanent	9%	4,1%	2,6
Luxemburger Straße	permanent	0%	0%	0,0

Für die übrigen in Kap.7 betrachteten Maßnahmen wurden auf Basis der in Tab. 7.2 ausgewiesenen Minderungspotenziale für die NO_X-Emissionen Abschätzungen der Minderungspotenziale für die NO_2-Immissionsgesamtbelastungen durchgeführt. Für keine der betrachteten Maßnahmen konnte ein NO_2-Minderungspotenzial von >5 µg/m³ abgeschätzt werden.

In Tab. 8.3 und Tab. 8.4 sind die Ergebnisse dieser Abschätzungen aufgeführt, in Tab. 8.3 für kurzfristig umzusetzende Maßnahmen und in Tab. 8.4 für mittel- bis langfristig umzusetzende Maßnahmen.

Für Maßnahmen, die das Ziel einer Verkehrsverflüssigung haben (optimiertes Routing gegen Stop&Go, Zuflussregulierung), wurden NO_2-Minderungspotenziale im Bereich von bis zu 5 µg/m³ abgeschätzt. Bei der Zuflussregulierung wurde dabei von einer permanenten Schaltung ausgegangen, wobei gewährleistet sein muss, dass dies ohne Konflikte mit der ÖPNV Bevorrechtigung möglich ist. Zu beachten ist, dass diese beiden Maßnahmen auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen und daher deren Wirkungen nicht addiert werden können. Eine Analyse der individuellen Standortbedingungen der einzelnen Hotspots in Köln wäre erforderlich, wenn das jeweils vorliegende reale Minderungspotenzial ermittelt werden sollte.

Die geschätzten Wirkungen auf den Jahresmittelwert der NO_2-Konzentrationen aller anderen betrachteten Maßnahmen liegen in der Größenordnung von 1 µg/m³ oder darunter.

Bei den Maßnahmen aus dem Bereich Verkehrsvermeidung/Verkehrsverlagerung muss zwischen Maßnahmen unterschieden werden, die nur temporär wirken (Kennzeichen gesteuerte Zufahrt, umweltsensitives Verkehrsmanagement), und Maßnahmen, die permanent wirken.

*Tab. 8.3: Abschätzung der emissions- und immissionsseitigen NO_2-Minderungspotenziale der in Kap. 7 betrachteten **kurzfristig** umsetzbaren Maßnahmen bezogen auf den Jahresmittelwert 2017 (Hinweis: die ausgewiesenen NO_2-Minderungspotenziale sind nicht addierbar, da diese teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen)*

Maßnahme **		Minderungspotenzial *		
		NO_X-Jahresemissionen Straßenverkehr, rel.	NO_2-Immission Jahresmittel, rel.	NO_2-Immission Jahresmittel, abs.
Verkehrsverflüssigung (Szenario VI)				
Tempolimit von 40 km/h	permanent	ca. 5%	< 5%	ca. 1 µg/m³
Nächtlich wirkende Maßnahmen (Szenario VIII)				
Nächtl. Abschalten d. LSA-Steuerung	permanent		ca. 1%	0,1 - 1 µg/m³
* Minderungspotenzial aus Literaturdaten abgeleitet; das für die Belastungsschwerpunkte in Köln real existierende Minderungspotenzial kann nur durch detaillierte Untersuchungen ermittelt werden.				
** Die ausgewiesenen Maßnahmen zielen teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial, daher können deren Wirkungen nicht addiert werden.				
Legende der Farbgebung: Zeithorizont der Umsetzung: grün = kurzfristig, gelb = mittelfristig, orange = mittel- bis langfristig				

*Tab. 8.4: Abschätzung der emissions- und immissionsseitigen NO_2-Minderungspotenziale der in Kap. 7 betrachteten **mittel- bis langfristig** umsetzbaren Maßnahmen bezogen auf den Jahresmittelwert 2017 (Hinweis: die ausgewiesenen NO_2-Minderungspotenziale sind nicht addierbar, da diese teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen)*

Maßnahme **		Minderungspotenzial *		
		NO_X-Jahresemissionen Straßenverkehr, rel.	NO_2-Immission Jahresmittel, rel.	NO_2-Immission Jahresmittel, abs.
Verkehrsverflüssigung (Szenario VI)				
Optimiertes Routing gegen Stop&Go	permanent	ca. 10%	ca. 5%	1 - 5 µg/m³
Zuflussregulierung	permanent	< 15%	ca. 5%	1 - 5 µg/m³
Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung (Szenario VII)				
Kennzeichen gesteuerte Zufahrt	temporär	< 5%	ca. 1%-2%	ca. 1 µg/m³
Umweltsensitives Verkehrsmanag.	temporär		ca. 1%	0,1 - 1 µg/m³
Parkraumbewirtschaftung	permanent	< 5%	ca. 1%-2%	ca. 1 µg/m³
B+R u. P+R-Großanlagen	permanent	< 1%	< 1%	0,1 - 1 µg/m³
Förderung Umweltverbund	permanent	< 5%	ca. 1%-2%	ca. 1 µg/m³
Elektromobilität (Szenario IX)				
Nutzergruppen o. Linienbusse	permanent	< 1%	< 1%	0,1 - 1 µg/m³
Kaufanreize Pkw und lNfz	permanent	< 1%	< 1%	0,1 - 1 µg/m³
* Minderungspotenzial aus Literaturdaten abgeleitet; das für die Belastungsschwerpunkte in Köln real existierende Minderungspotenzial kann nur durch detaillierte Untersuchungen ermittelt werden.				
** Die ausgewiesenen Maßnahmen zielen teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial, daher können deren Wirkungen nicht addiert werden.				
Legende der Farbgebung: Zeithorizont der Umsetzung: grün = kurzfristig, gelb = mittelfristig, orange = mittel- bis langfristig				

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass die in Tab. 8.3 ausgewiesenen NO_2-Minderungpotenziale auf der Basis von Abschätzungen und Analogschlüssen abgeleitet wurden. Um für diese Maßnahmen konkrete belastbare quantifizierte Wirkungsanalysen für die drei Belastungsschwerpunkte durchzuführen, müssten aufwändige Datenerhebungen und/oder Modellrechnungen durchgeführt werden, zunächst mit dem Verkehrsmodell der Stadt zur Ermittlung der verkehrlichen Wirkungen nicht nur am Belastungsschwerpunkt sondern im gesamten relevanten Straßennetz. Nur so wird es möglich sein, die Wirkungen im Detail zu quantifizieren und z.B. auch negative Folgen der Maßnahmen, d.h. Verkehrsverlagerungen, zu ermitteln.

Die ausgewiesenen NO_2-Minderungspotenziale geben aber eine insgesamt realistische erste Einschätzung der Größenordnung der an den Hotspots zu erwartenden NO_2-Minderungspotenziale an.

Gesamtfazit

Für die drei betrachteten Standorte Aachener Straße in Köln Weiden, Clevischer Ring und Luxemburger Straße in Köln wurden für die Analyse 2017 mit 54 µg/m³ bzw. 63 µg/m³ bzw. 49 µg/m³ NO_2-Konzentrationen (in Messhöhe über Grund) berechnet, die deutlich über dem gültigen Grenzwert von 40 µg/m³ liegen. Die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen zeigen, dass auch bis zum Jahr 2020 (Trendprognose 2020) ohne die Umsetzung weiterer Maßnahmen der Grenzwert für die jahresmittleren NO_2-Konzentrationen an den drei betrachteten Standorten nicht eingehalten werden kann.

Die für die Grenzwerteinhaltung erforderlichen Reduktionen der NO_2-Konzentrationen liegen im Jahr 2017 im Bereich von 9 µg/m³ (Luxemburger Straße) bis 23 µg/m³ (Clevischer Ring) und im Jahr 2020 im Bereich von 4 µg/m³ bis 15 µg/m³ (Szenario III).

Die NO_2-Minderungspotenziale der Maßnahmen blaue Umweltzone (Szenario IV) und Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V) wurden zunächst für das Jahr 2017 ermittelt. Es ergeben sich deutliche Reduktionen des NO_2-Jahresmittelwertes für alle drei Standorte, die aber nur für die Luxemburger Straße mit 40 µg/m³ für die Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V) den Grenzwert erreicht. Für den Clevischen Ring liegen die jahresmittleren NO_2-Konzentrationen für die beiden Maßnahmen bei 51 µg/m³ bzw. 52 µg/m³ und für die Aachener Straße bei 44 µg/m³ bzw. 45 µg/m³.

Das Wirkungspotenzial dieser beiden Maßnahmen (blaue Umweltzone und Dieselverkehrsbeschränkung) liegen in der gleichen Größenordnung. Die Unterschiede zwischen den Standorten sind vor allem in der unterschiedlichen Verkehrszusammensetzung begründet. Bei der Maßnahme blaue Umweltzone (Szenario IV) sind alle Fahrzeugkategorien von der Aussperrung der Dieselfahrzeuge schlechter Euro 6/VI betroffen, bei der Maßnahme Dieselverkehrsbeschränkung (Szenario V) sind nur die Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeuge von der Aussperrung betroffen, wobei dann aber alle Dieselfahrzeuge ausgesperrt werden (mit 20% Ausnahmen).

Bezüglich der Wirkung dieser beiden Maßnahmen (blaue Umweltzone und Dieselverkehrsbeschränkung) im Jahr 2020 wird für die Aachener Straße in Köln-Weiden und die Luxemburger Straße eine Einhaltung des NO_2-Grenzwertes prognostiziert. Für den Clevischen Ring wird dies noch nicht der Fall sein wird. Die verbleibenden Überschreitungen liegen dort im Bereich von 4 bis 5 µg/m³.

Es ist demnach zusätzlich zu solchen verkehrsbeschränkenden Maßnahmen, durch die kurzfristig deutliche NO_2-Minderungen erzielt werden können, noch die Umsetzung weiterer Maßnahmen notwendig. Es wurden Abschätzungen für verschiedene weitere Maßnahmen z.B. zur Verkehrsverflüssigung oder Verkehrsvermeidung/-verlagerung durchgeführt. Für alle diese Maßnahmen zeigt sich ein eher geringes Minderungspotenzial. Zudem ist bei diesen Maßnahmen zu beachten, dass sie teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen und daher deren Wirkungen bei Maßnahmenkombinationen nicht addiert werden dürfen.

Literatur

22. BIMSCHV 2002
Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte). In: BGBl I Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626.

33. BIMSCHV 2002
Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen). In: BGBl I Nr. 36 vom 20.07.2004, S. 1612.

39. BIMSCHV 2010
Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen). In: BGBl. I S. 1065 (Nr. 40) vom 02.08.2010

AVISO 2012a
Machbarkeitsstudie „Essener Norden“: Möglichkeiten und Potenziale verkehrlicher Maßnahmen zur Verringerung von Partikel-, Stickstoffdioxid und Lärm-Immissionen im Essener Norden, LANUV-Fachbericht 41, AVISO 2012

AVISO 2012b
Ersteinschätzung der Wirkung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen auf die NO_X- und PM10-Emissionen, AVISO im Auftrag der LUBW, Aachen 2012

AVISO 2014
Überprüfung der Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen zum Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 2012, AVISO im Auftrag des LANUV NRW, Aachen 2014

AVISO 2015
Machbarkeitsstudie Kölner Straße – Maßnahmenprüfung, Schlussbericht, AVISO 2015

AVISO 2017a
Gesamtwirkungsgutachten zur immissionsseitigen Wirkungsermittlung der Maßnahmen der 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans Stuttgart, AVISO GmbH, IB Rau, PTV TC GmbH, 2017

AVISO 2017b
Fachgutachten „Modellstadt Reutlingen”, AVISO GmbH, IB Rau, brenner BERNARD Ingenieure GmbH, ifeu Institut für Energie und Umweltforschung, Bericht Mai 2017

AVISO 2017c
Gesamtwirkungsgutachten zur immissionssei-tigen Wirkungsermittlung der Maßnahmen der 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans Stuttgart, Dokumentation, Teil 1, AVISO GmbH, IB Rau, PTV TC GmbH, 2017

BASt 2017a
Minderungspotenziale und Qualitätsanforderungen zum Einsatz von Verfahren zum dynamischen umweltsensitiven Verkehrsmanagement (UVM) an Verkehrswegen, Diegmann et al., BASt Kolloquium Luftqualität an Straßen 2017

BASt 2017b
Umweltorientierte Verkehrssteuerung Erfurt – Ergebnisse des mehrjährigen Feldversuchs, Plank-Wiedenbeck et al., BASt Kolloquium Luftqualität an Straßen 2017

Berlin 2013
Evaluierung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, LK Argus GmbH et al. in Berlin, Berlin 2013

Düring et al. 2011
A new simplified NO/NO_2 conversion model under consideration of direct NO_2-emissions, Düring, I.; Bächlin, W.; Ketzel, M.; Baum, A.; Friedrich, U.; Wurzler, S., Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, No. 1, 067-073, 2011

Eichhorn 1989
Eichhorn, J., Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen, mikroskaligen Stadtklimamodells. Diss. Meteorol. Inst. Univ. Mainz, Mainz, 1989

Eichhorn 2011
MISKAM Handbuch, Wackernheim: giese-eichhorn umweltmeteorologische software, 2011

HAMBURG 2017
Luftreinhalteplan Hamburg (2.Fortschrebung), aufgestellt am 30.06.2017 gemäß § 47 des BImSchG mit Senatsbeschluss vom 30. Juni 2017

HBEFA 2017
HBEFA 3.3, www.hbefa.net

HAUSBERGER 2010
Hausberger, S., et al., Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3, TU Graz Institute for internal combustion engines and thermodynamics, Graz Dezember 2009

INFRAS 2004
Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Bern, 2004

IVU 2010
Analysis of the Impacts of an Environmental Traffic Management System on Vehicle Emissions and Air Quality, Neunhäuserer, L., Diegmann, V., Proceedings, TAP 2010

LANUV 2017
Emissionsberechnungen im Rahmen der Aufstellung eines Luftreinhalteplans für das Plangebiet in der Kommune Köln, Schlussbericht, AVISO im Auftrag des LANUV, 2017

LUBW 2011
Leitfaden; Modellierung verkehrsbedingter Emissionen; Anforderungen an die Eingangsdaten., LUBW, Hrsg., 2011

LUBW 2015
Wirkungsabschätzung weitere Maßnahmen für den Ballungsraum Stuttgart, LUBW, Karlsruhe 2015

MARLIS 2016
Aktualisierung der Datenbank MARLIS – Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft in Bezug auf Immissionen an Straßen, AVISO im Auftrag der BASt, Zwischenbericht September 2016

Rau 2013
Vergleich der emissionsseitigen Auswirkungen von Tempo 40 und Tempo 30 auf einem Straßenabschnitt im Innenstadtbereich von Tübingen im Rahmen der Fortschreibung der Luftreinhaltepläne des Regierungspräsidiums Tübingen – Teilplan Tübingen, Ingenieurbüro Rau, AVISO GmbH, 2013

Rau 2017
Bestimmung der emissions- und immissionsseitigen Auswirkungen mehrerer Maßnahmen im Rahmen der 3. Fortschreibung der Luftreinhaltepläne des Regierungspräsidiums Freiburg, Ingenieurbüro Rau, AVISO GmbH, R+T Ingenieure, in Bearbeitung

RAUERBERG 2015
Rautterberg-Wulff, A: Beobachtungen zur langjährigen Entwicklung der Luftqualität an Berliner Hauptverkehrsstraßen vor und nach Anordnung von Tempo 30, Immissionsschutz 2/2015

Scholz et al. 2014
Senkung der NO_2-Konzentrationen durch Maßnahmen zur Verkehrsverstetigung an der Hohenheimer Straße in Stuttgart – Auswirkungen einer geänderten Parkzeitenregelung und der Einführung von Tempo 40 an einer Steigungsstrecke, Immissionsschutz Heft 4, 2014

Shoup 2011
The High Cost of Free Parking, Updated Edition, Donald Shoup, 2011

TU Dresden 2015
https://tudresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/downloads/Informationsbroschuere_SrV_2013.pdf?lang=de

TU Graz 2009
GAVe - Grazer Adaptive Verkehrssteuerung - Ansätze für eine emissionsminimierende Lichtsignalsteuerung, Graz, 2009

TÜV Nord 2011
Vermessung des Abgasemissionsverhaltens von zwei Pkw und einem Fahrzeug der Transporterklasse im realen Straßenbetrieb in Stuttgart mittels PEMS Technologie,

http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/23231/bericht-tuev-nord-lubw-pems-2011.pdf?command=downloadContent&filename=bericht-tuev-nord-lubw-pems-2011.pdf

VDI 2005
VDI-Fachbereich Umweltmeteorologie, VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9 - Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdl, 2005

Anhang

Darstellungen der mit MISKAM ermittelten Immissionskonzentrationen in ca. 1,5 m Höhe über Grund für alle drei Untersuchungsgebiete für die Trendprognose 2020 und die Szenarien IV und V (blaue Umweltzone 2017 und Dieselverkehrsbeschränkung 2017)

Ergebnisse der Messfahrten am Clevischen Ring

Neurosoft GmbH: Bericht Kennzeichenerfassung

Trendprognose 2020

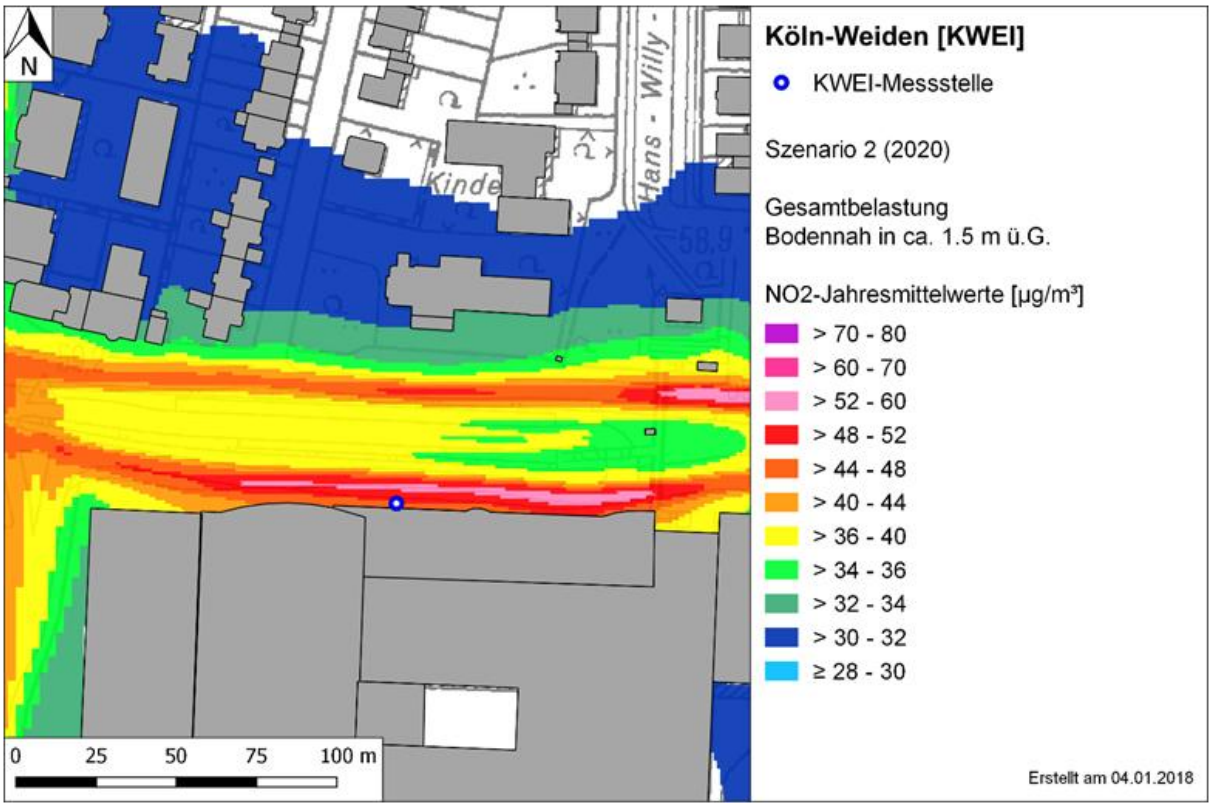


Bild 0.1: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario II (Trendprognose 2020)

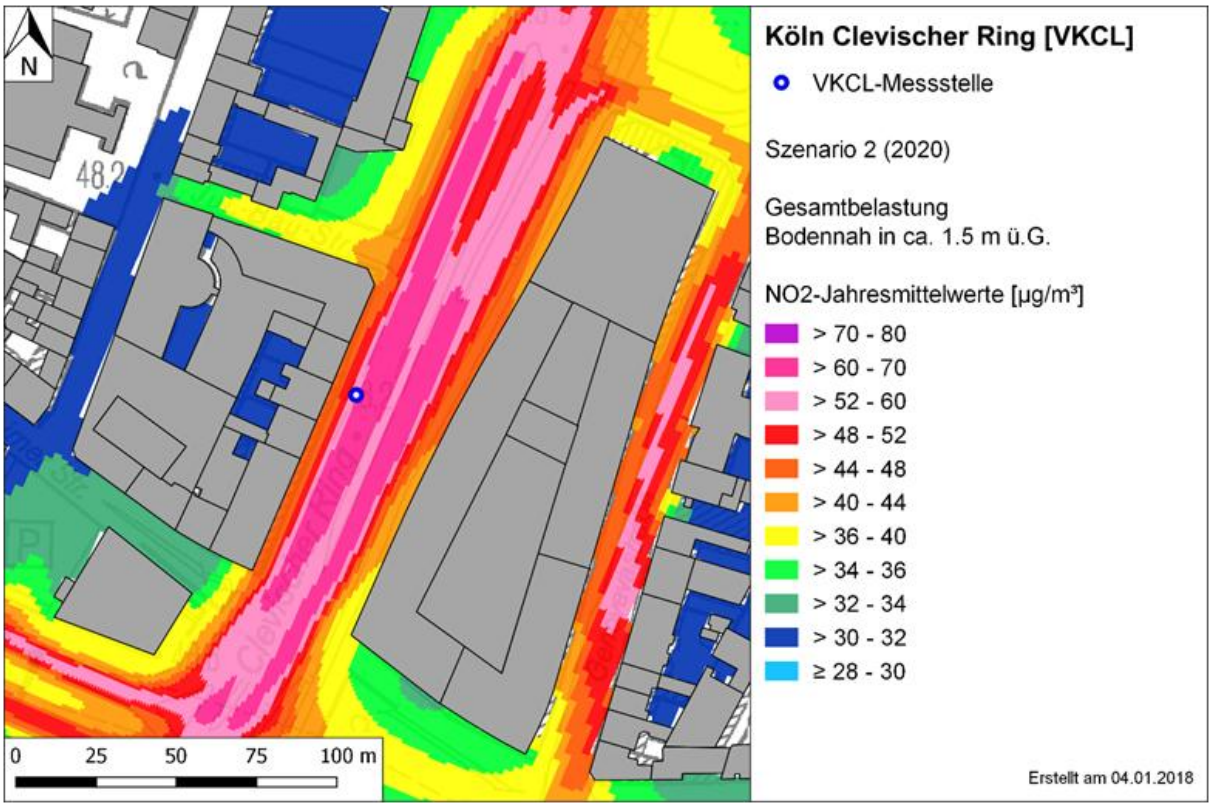


Bild 0.2: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Rring in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario II (Trendprognose 2020)

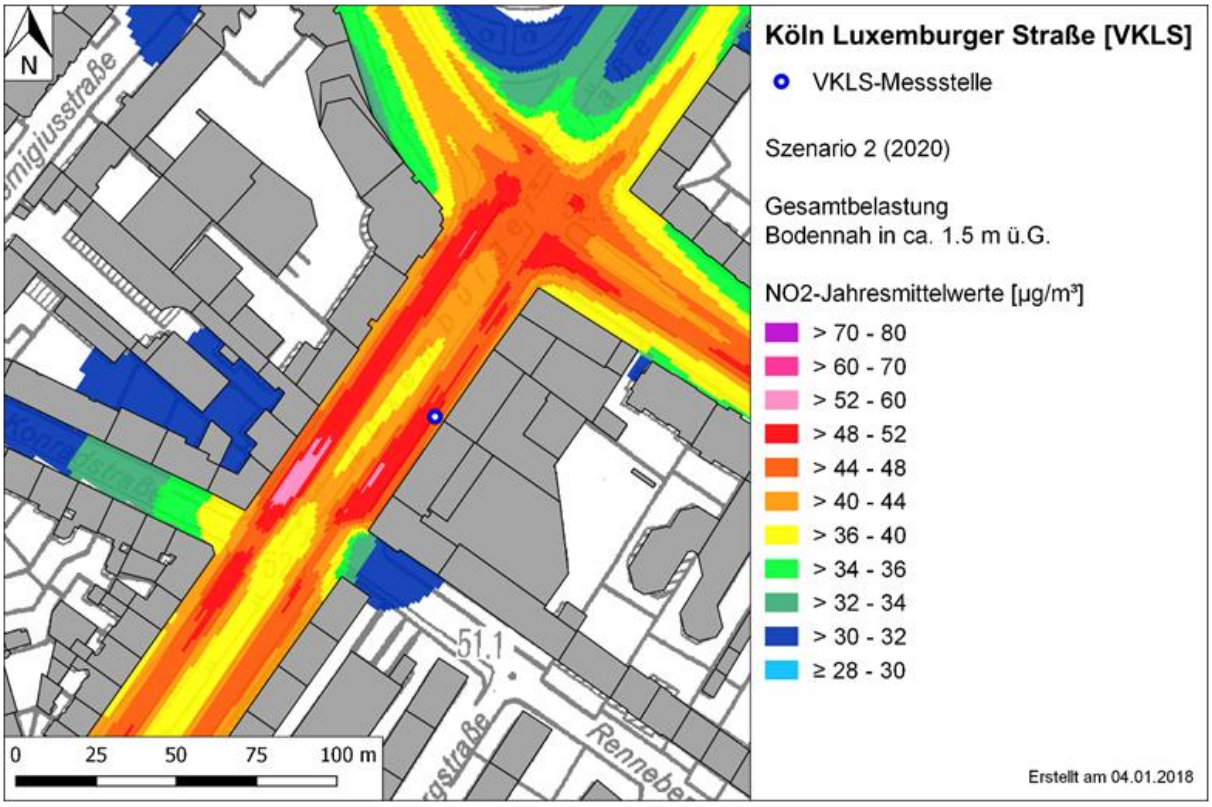


Bild 0.3: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario II (Trendprognose 2020)

Maßnahme Blaue Umweltzone (Szenario IV)

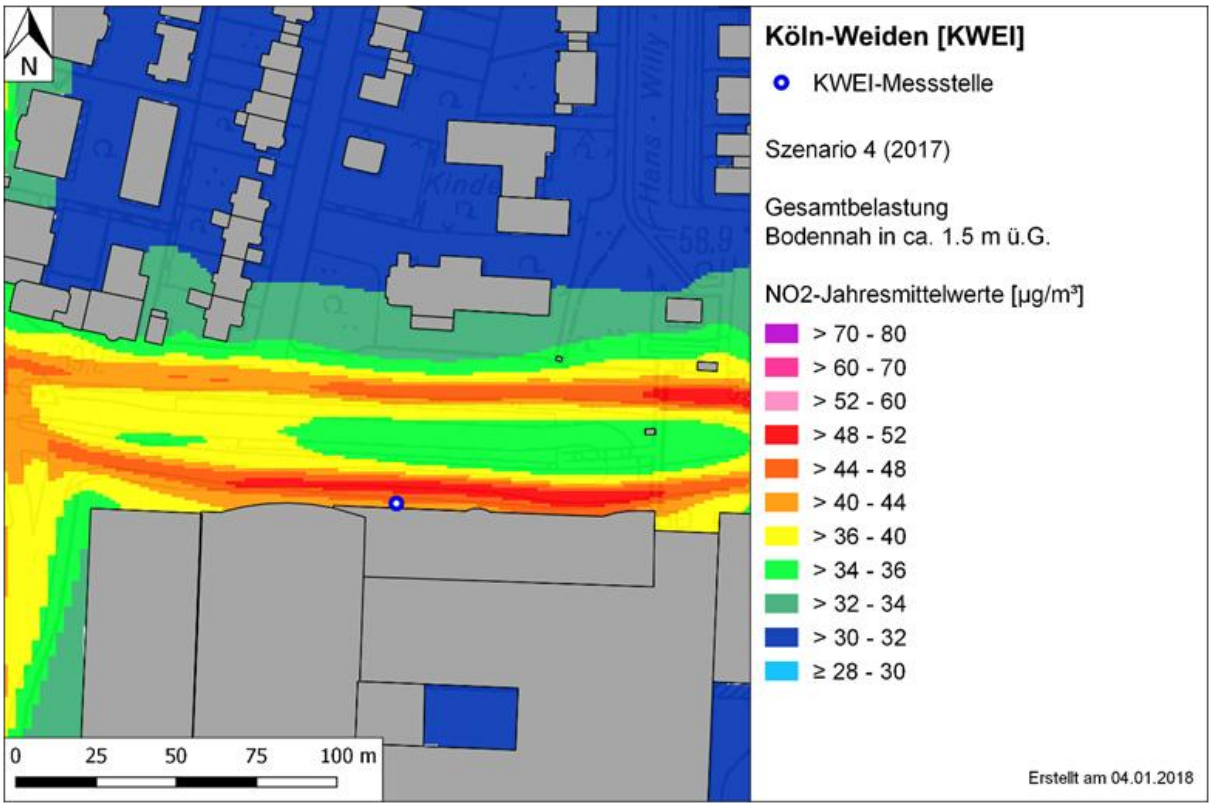


Bild 0.4: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario IV (blaue Umweltzoen 2017)

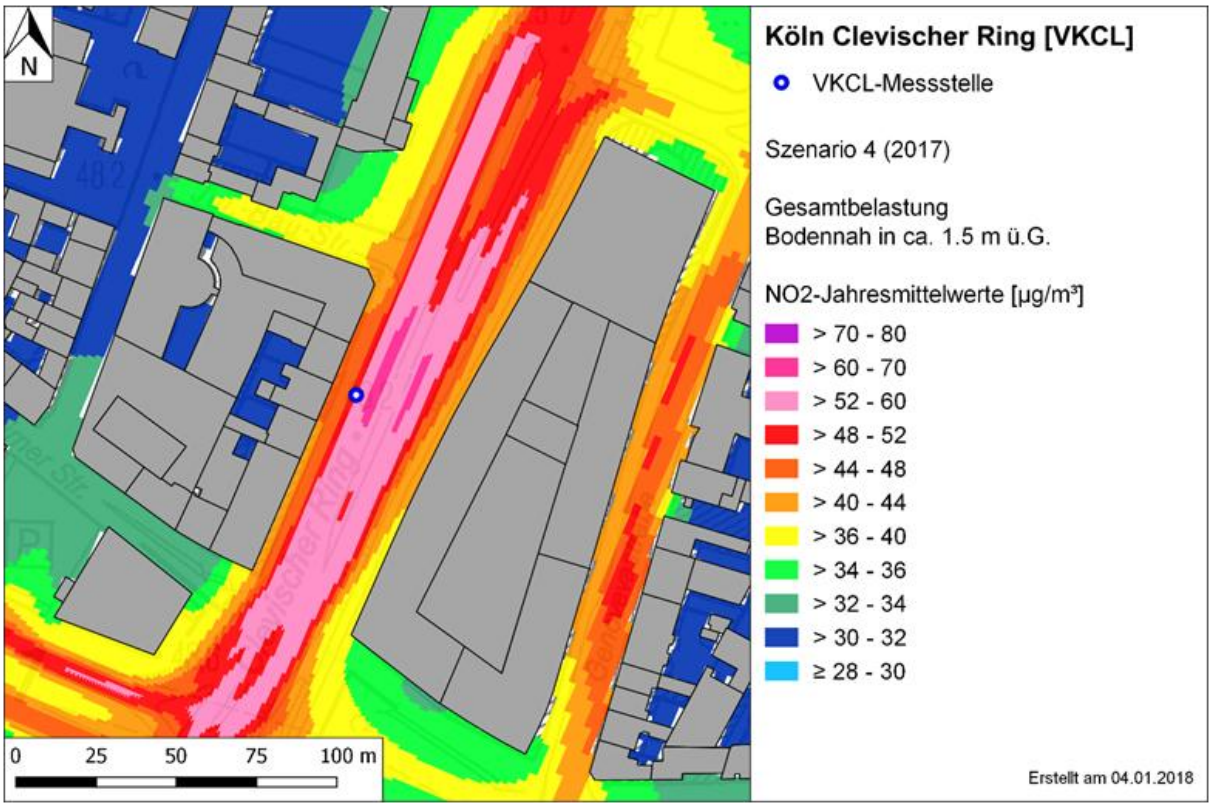


Bild 0.5: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Rring in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario IV (blaue Umweltzoen 2017)

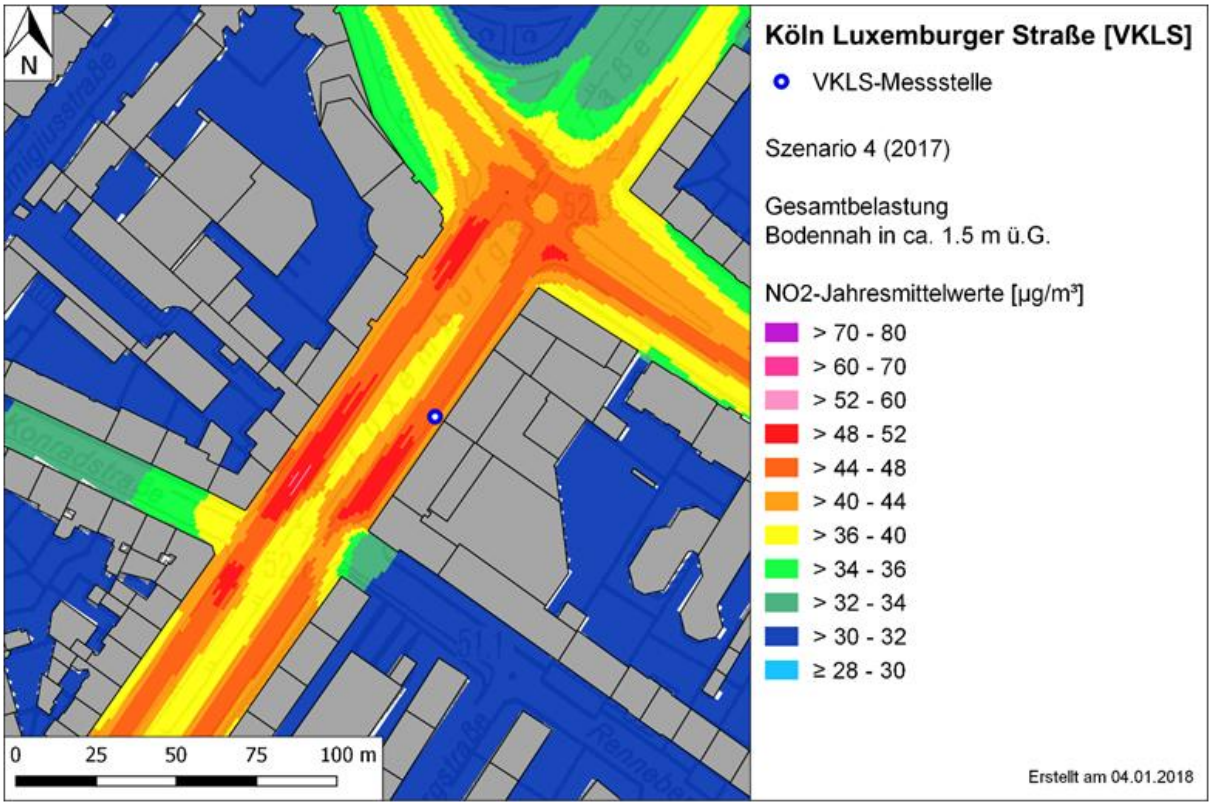


Bild 0.6: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario IV (blaue Umweltzone 2017)

Maßnahme Blaue Umweltzone (Szenario IV)

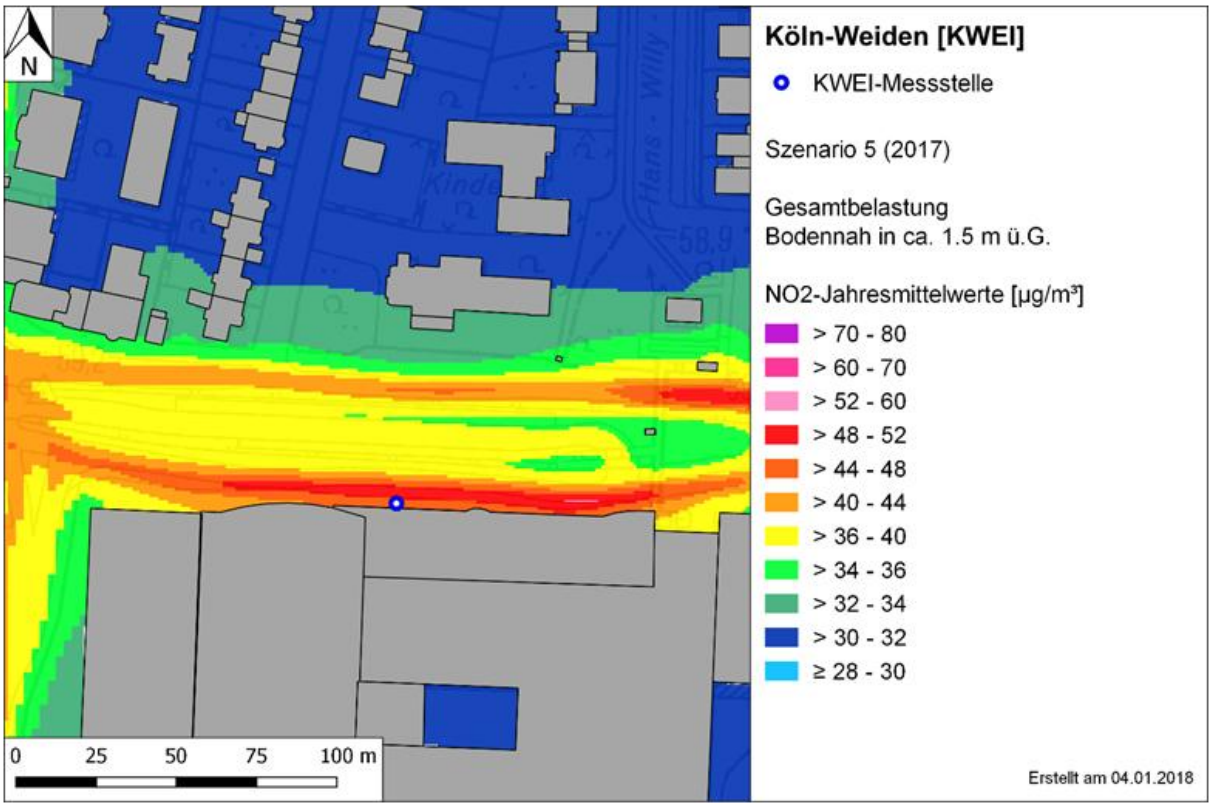


Bild 0.7: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Aachener Straße in Köln-Weiden in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017)

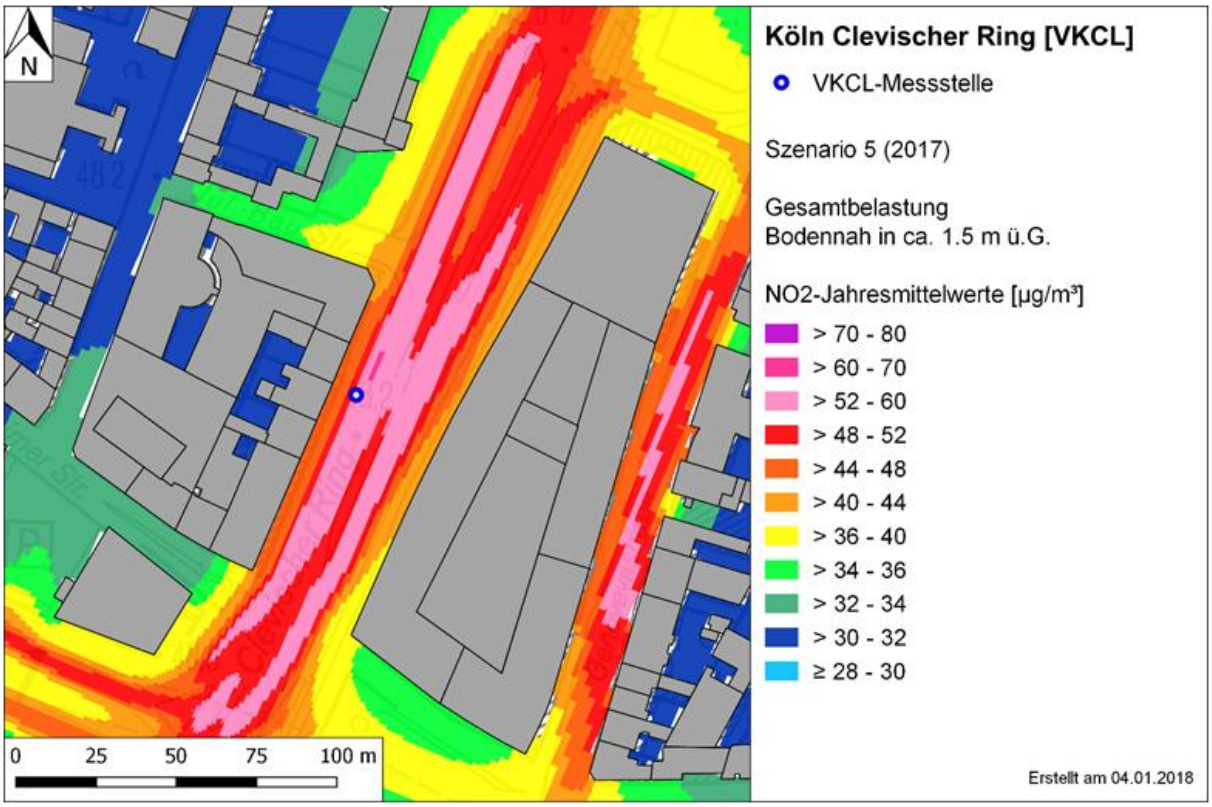


Bild 0.8: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Clevischer Rring in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017)

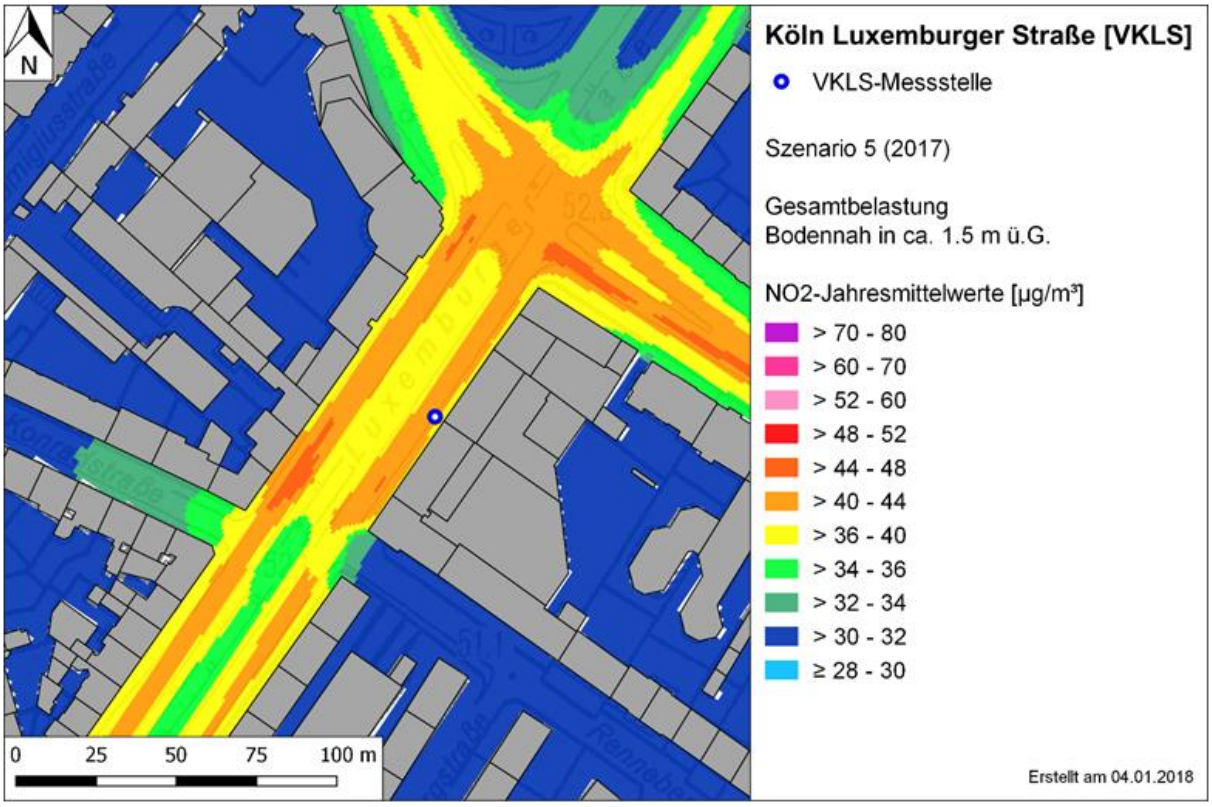


Bild 0.9: NO_2-Gesamtbelastung im Bereich der Messstelle Luxemburger Straße in ca.1,5 m Höhe über Grund, Szenario V (Dieselverkehrsbeschränkung 2017)

Messfahrten am Clevischen Ring

Zur Erfassung der Verkehrssituation als relevanter Eingangsgröße für die Emissionsberechnung wurden am Dienstag, dem 26.09.2017, im Zeitraum zwischen ca. 6:30 Uhr und 19:30 Uhr am Belastungsschwerpunkt Clevischer Ring mit einem für die Erfassung von Fahrprofilen technisch ausgestatteten Pkw im fließenden Verkehr insgesamt 74 Messfahrten durchgeführt. Die Testfahrer waren angewiesen, im Verkehr „mitzuschwimmen“, um im gesamten Tagzeitbereich das typische Verkehrsverhalten abzudecken.

Ziel war es, aus den Ergebnissen der Messfahrten charakteristische Verkehrssituationen bzw. Level of Serviec für den Clevischen Ring abzuleiten.

1. Erfassung von Fahrprofilen entlang der Messstrecke

Die Daten zu Geschwindigkeit, Drehzahl und Uhrzeit wurden an der OBD2-Schnittstelle am Fahrzeug in hoher zeitlicher Auflösung (0,2 Sec-Takt) abgenommen. Zusätzlich wurden zeitsynchron mit einem GPS-Gerät die Zeit und die Koordinaten der Fahrstrecke erfasst.

Der Verkehrsablauf für ein individuelles Fahrzeug auf einer Strecke kann von der davor gefahrenen Strecke abhängen: Ein Fahrzeug, das mit dem Hauptstrom auf eine Strecke einfährt, wird mit größerer Wahrscheinlichkeit von einer „Grünen Welle“ profitieren als ein Fahrzeug, dass aus einer Nebenstraße auf die Strecke einbiegt und daher nicht mit dem Hauptstrom „in Phase“ fährt. Die durchgeführten Messfahrten decken die beiden wichtigsten Varianten ab:

- Variante 1: Fahrtrichtung Norden: Beginn am Rendsburger Platz, über Bergischen Ring und Clevischen Ring bis zur Düsseldorfer Straße, dort Wendemöglichkeit; Fahrtrichtung Süden: gleiche Strecke in umgekehrter Richtung;
- Variante 2: Fahrtrichtung Norden (bezogen auf den Clevischen Ring): Beginn an der Boltensternstraße, über Niehler Gürtel und Mülheimer Brücke, Einbiegen in den Clevischen Ring bis zur Düsseldorfer Straße, dort Wendemöglichkeit; Fahrtrichtung Süden: gleiche Strecke in umgekehrter Richtung.

Beide Varianten der Messstrecke sind in Bild 0.10 dargestellt, eingefärbt mit der gemessenen mittleren sekündlichen Geschwindigkeit in km/h. Diese liegt im nördlichen Teil der Messstrecke und insbesondere auf dem Niehler Gürtel zum Teil deutlich über 50 km/h, auf Höhe der Messstation jedoch darunter.

In Bild 0.11 (Variante 1) und Bild 0.12 (Variante 2) sind die gemessenen Fahrprofile dargestellt. Es ist jeweils für alle Messfahrten die lokale Fahrgeschwindigkeit über die gefahrene Wegstrecke aufgetragen. In beiden Fahrtrichtungen musste zum Teil mehrfach vor LSA gehalten werden, es kam aber auch zu Halten zwischen den LSA. In Variante zwei ist gut zu erkennen, dass alle Fahrzeuge vor dem Abbiegen in den Clevischen Ring bzw. auf die Mül-

heimer Brücke abbremsen und nach dem Abbiegen wieder beschleunigen, auch wenn sie nicht an der Kreuzung halten mussten.

Für die Emissions- und Immissionsberechnung ist die Verkehrssituation am Streckenabschnitt auf Höhe der Messstation von besonderer Bedeutung. Der Streckenabschnitt sollte typisch für die Messstation sein, jedoch auch nicht zu kurz, damit über zufällige Störungen gemittelt wird. Es wurde daher ein Abschnitt von ca. 800 m Länge von der Kreuzung Clevischer Ring – Mülheimer Brücke nach Norden bis kurz vor Ende der Messstrecke für die Auswertung ausgewählt. In Bild 0.11 und Bild 0.12 ist dieser Abschnitt jeweils durch schwarze Linien markiert.

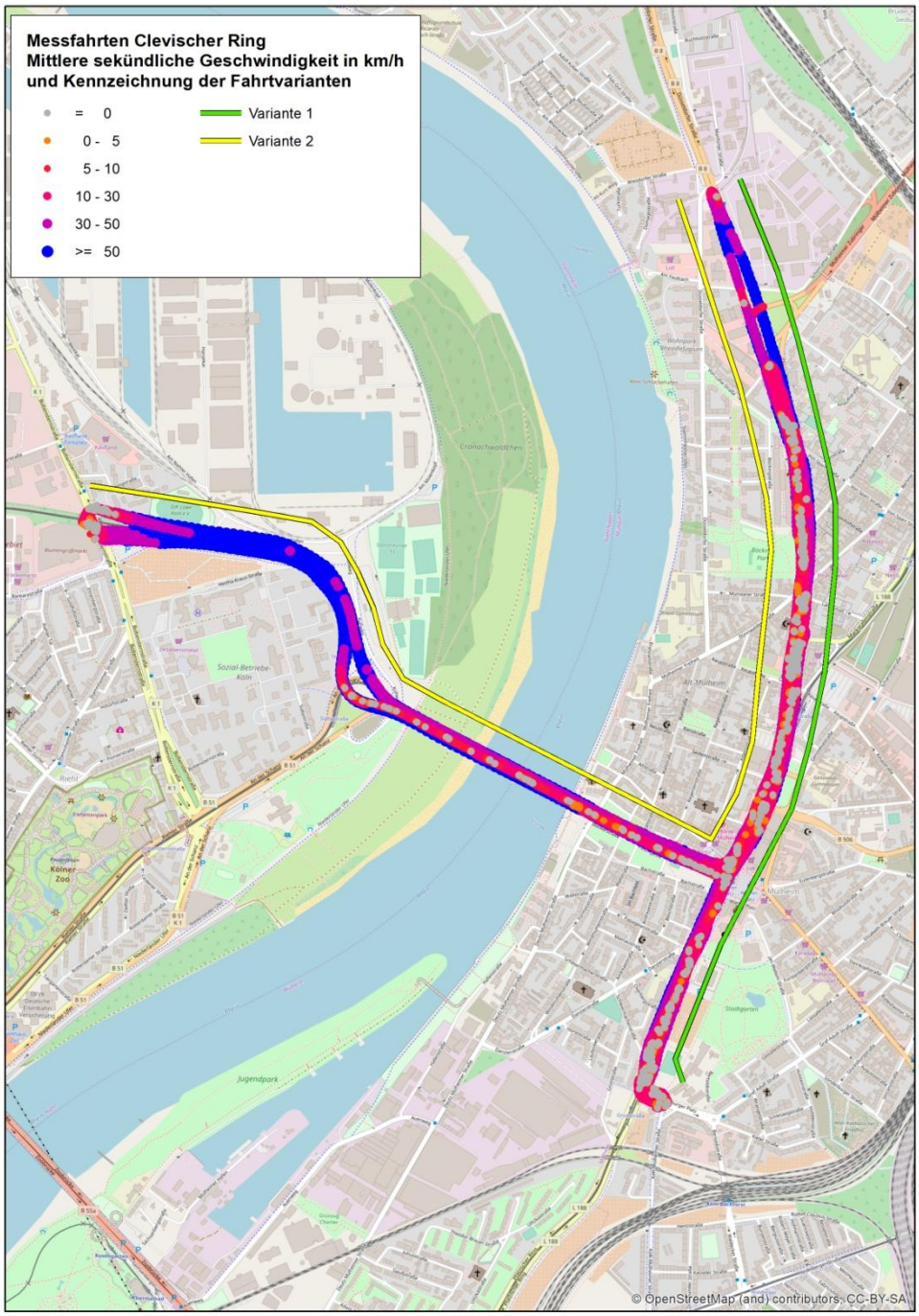


Bild 0.10: Messstrecke am Clevischen Ring in Köln: Mittlere sekündliche Geschwindigkeit in km/h

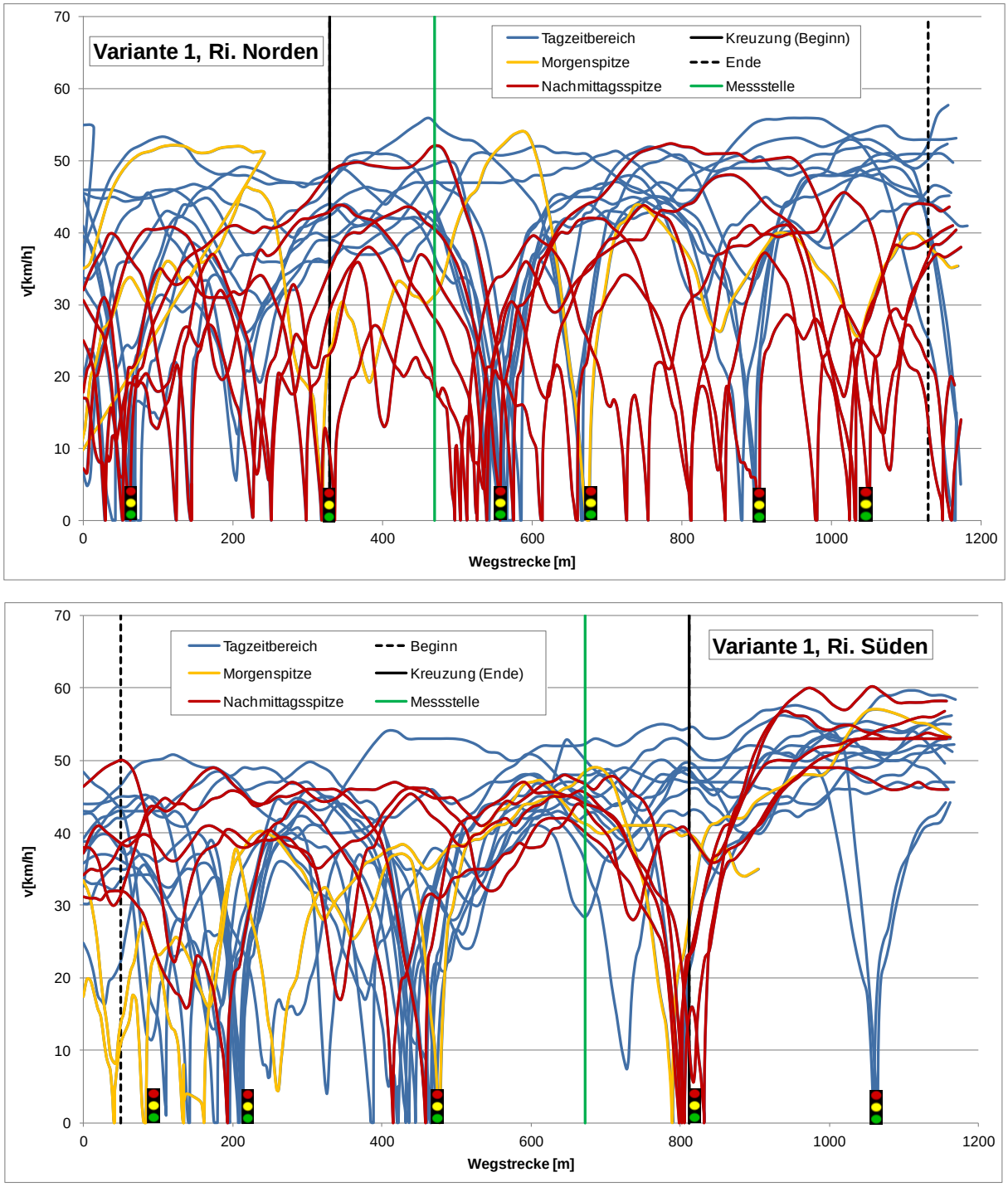


Bild 0.11: Fahrprofile der Messfahrten (Variante 1), oben: Fahrtrichtung Norden, unten: Fahrtrichtung Süden; die durchgezogene schwarze Linie markiert an der Kreuzung Mülheimer Brücke – Clevischer Ring in Fahrtrichtung Norden den Beginn und in Fahrtrichtung Süden das Ende des auszuwertenden Bereichs, die gestrichelte schwarze Linie markiert entsprechend in Fahrtrichtung Norden das Ende und in Fahrtrichtung Süden den Beginn des auszuwertenden Bereichs

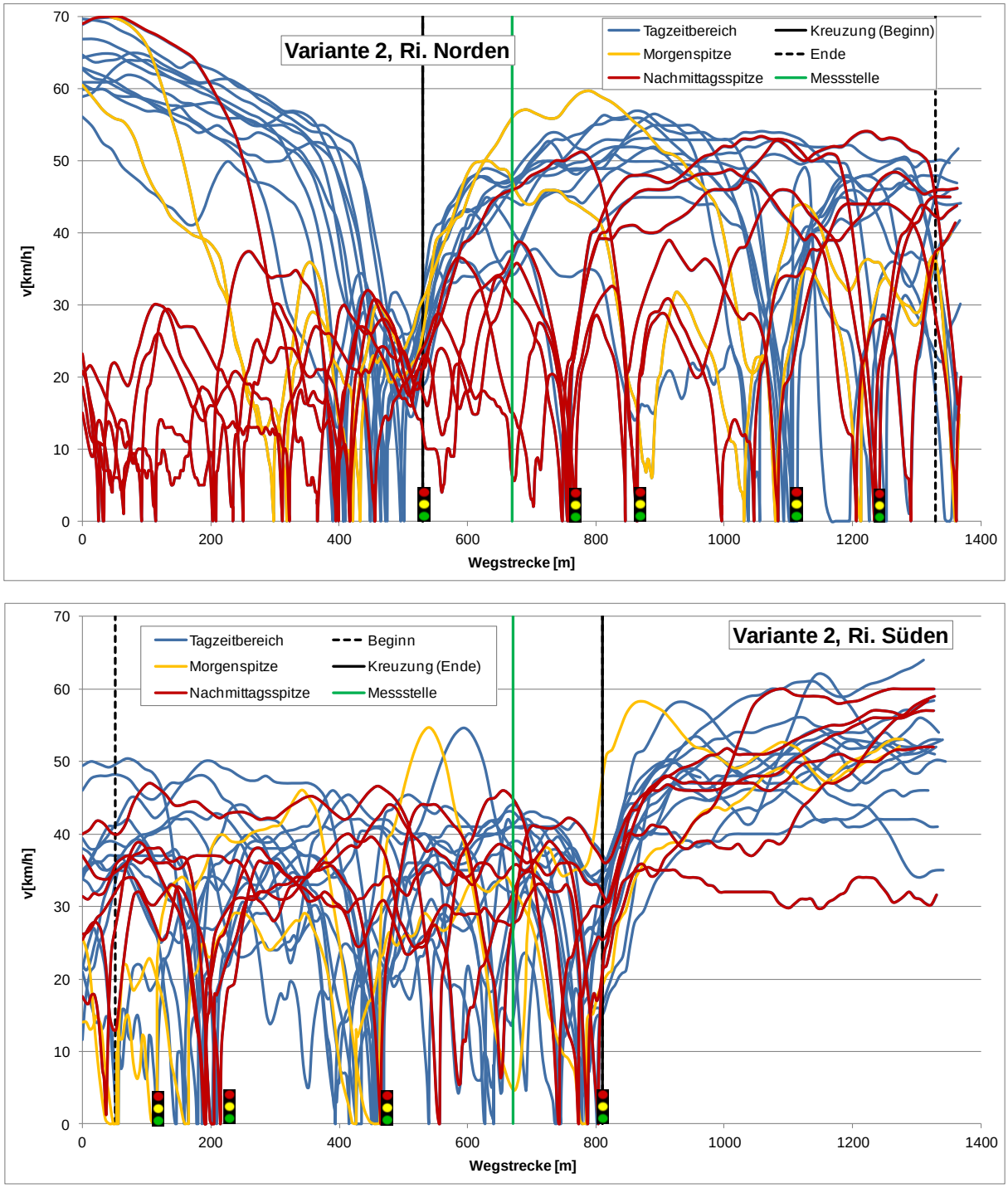


Bild 0.12 Fahrprofile der Messfahrten (Variante 2), oben: Fahrtrichtung Norden, unten: Fahrtrichtung Süden (bezogen auf den Clevischen Ring); die durchgezogene schwarze Linie markiert an der Kreuzung Mülheimer Brücke – Clevischer Ring in Fahrtrichtung Norden den Beginn und in Fahrtrichtung Süden das Ende des auszuwertenden Bereichs, die gestrichelte schwarze Linie markiert entsprechend in Fahrtrichtung Norden das Ende und in Fahrtrichtung Süden den Beginn des auszuwertenden Bereichs

2. Ergebnisse der Messfahrten am Clevischen Ring

Für den auszuwertenden Streckenabschnitt am Clevischen Ring wurde aus den Messfahrten in den Zeitbereichen „Morgenspitze“, „Tagzeitbereich“ und „Nachmittagsspitze“ die LOS (Level Of Service, Störungsgrad)-Verteilung über den Tag abgeleitet.

Relevant für die Bestimmung des Störungsgrads sind die charakteristischen Dynamikparameter der Verkehrssituationen nach HBEFA3.3: RPA (Relative Positive Acceleration), Konstantfahrtanteil und Reisegeschwindigkeit. Für die hier betrachtete Messstrecke sind sie hoch korreliert, daher ist es ausreichend, zur Ableitung der LOS-Verteilung die Reisegeschwindigkeit auszuwerten. Diese kann pro Variante und Fahrtrichtung auf dem auszuwertenden Abschnitt für jede Messfahrt berechnet werden.

Die Tagesgänge der Reisegeschwindigkeit sind in Bild 0.13 dargestellt. Die gefüllten Symbole stellen die Messfahrten auf Variante 1, die ungefüllten Symbole die Messfahrten auf Variante 2 dar.

Anders als die in Bild 0.10 in die Karte eingetragene mittlere sekündliche Geschwindigkeit bezieht sich die Reisegeschwindigkeit auf den gesamten Abschnitt. Sie liegt für alle Varianten und Richtungen zu allen Tageszeiten unter 45 km/h.

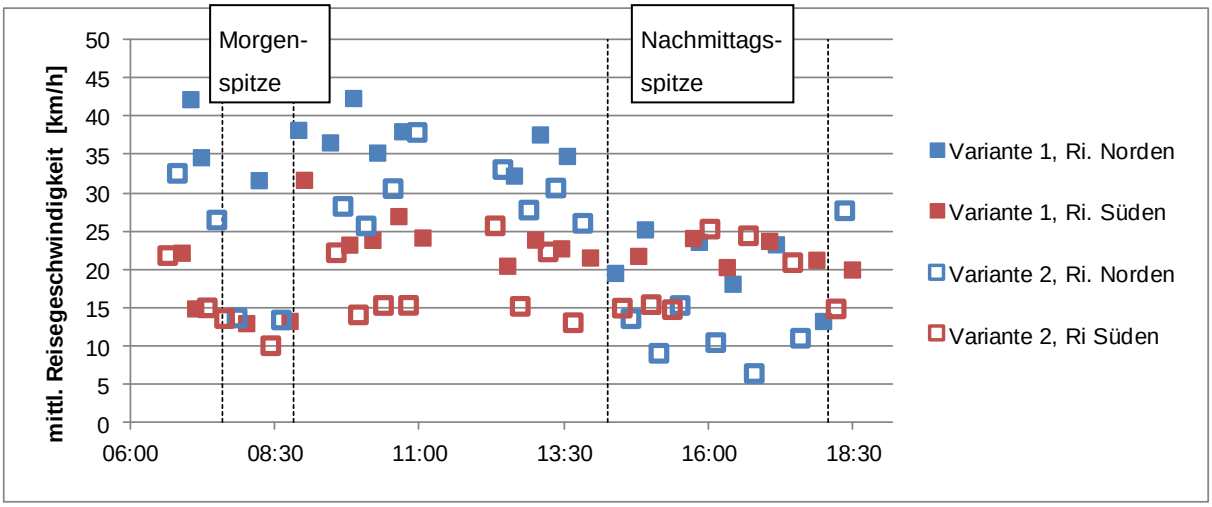


Bild 0.13: Tagesgang der Reisegeschwindigkeit für den auszuwertenden Abschnitt pro Variante und Richtung, abgeleitet aus den Messfahrten; zwischen den gestrichelten schwarzen Linien liegen jeweils die Morgen- und die Nachmittagsspitze

Die Morgenspitze und die Nachmittagsspitze sind als Einbrüche der Reisegeschwindigkeiten zu erkennen und in Bild 0.10 mittels gestrichelter schwarzer Linien markiert.

Mit Ausnahme der Nachmittagsspitze liegt die Reisegeschwindigkeit in Fahrtrichtung Norden höher als in Fahrtrichtung Süden. Außerdem ist zu erkennen, dass die Reisegeschwindigkeit auf Variante 1 (an der Kreuzung Clevischer Ring – Mülheimer Brücke geradeaus) jeweils höher liegt als auf Variante 2 (Abbiegen auf die Mülheimer Brücke).

Nach Aussagen der Fahrer entspricht Variante 1 der Hauptrichtung, dies wurde durch die Videoauswertungen bestätigt. Für die Bestimmung des LOS auf dem auszuwertenden Abschnitt wurden die Reisegeschwindigkeiten beider Varianten entsprechend den Verkehrswerten aus der Videoauswertung gewichtet gemittelt.

Für die Zeitbereiche „Morgenspitze“, „Tagzeitbereich“ und „Nachmittagsspitze“ wurden die Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten pro Variante und Fahrtrichtung bestimmt. In Anlehnung an die Definitionen nach dem HBEFA (dargestellt in Tab. 0.1) wurde dem auszuwertenden Abschnitt pro Richtung für jeden Zeitbereich ein Störungsgrad (LOS) zugeordnet.

Tab. 0.1: Level of Service in Abhängigkeit von der Reisegeschwindigkeit für innerstädtische Hauptverkehrsstraßen mit Tempolimit 50 km/h nach HBEFA

HBEFA	**mittlere Reisegeschwindigkeit**
flüssig	v > 45 km/h
dicht	45 km/h ≥ v > 30 km/h
gesättigt	30 km/h ≥ v > 15 km/h
Stop&Go	v < 15 km/h

In Tab. 0.2 sind die ermittelten LOS pro Tagzeitbereich für den auszuwertenden Abschnitt ausgewiesen.

Tab. 0.2: Störungsgrad (level of service, LOS) pro Richtung und Zeitbereich für den auszuwertenden Abschnitt, abgeleitet aus den mittleren Reisegeschwindigkeiten der Messfahrten und den Definitionen nach HBEFA (Tab. 0.1)

	Morgenspitze	Tagzeit	Nachmittagsspitze	Nachtzeit
Ri. Norden	dicht	dicht	gesättigt	flüssig
Ri. Süden	Stop&Go	gesättigt	gesättigt	flüssig

Ermittlung von NO2-Minderungpotenzialen
ANPR Erfassung Köln

Auftraggeber:

AVISO GmbH

Bearbeiter

Dipl.-Ing. Winfried Krux
Dr.-Ing. Tobias Volkenhoff
Dipl.-Wirt.-Ing. Kay Weltring
Neurosoft GmbH

Bergisch Gladbach, November 2017

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 3

1 Einleitung und Ausgangssituation 4

1.1 Technologiebeschreibung (NeuroCar) 4

1.1.1 Systemaufbau 4

1.1.2 Funktionsbeschreibung 6

1.2 Datenbeschreibung 6

1.2.1 Aufbereitung der Rohdaten 6

1.2.2 Zulassung Datenschutz 7

2 Vorbereitung der Erhebung 7

2.1 Kriterien der Standortwahl 7

2.2 Festlegung der Messquerschnitte 9

2.3 MQ-Aufbaustruktur (Steckbriefe) 9

3 Installation der Kamerasysteme 11

3.1 Vorgehensweise 11

4 Aufbereitung der Daten 13

5 Auswertung und Datenübergabe 14

5.1 Häufigkeitsverteilung der Ortskennung 14

5.2 Verteilung der Tagesverläufe 16

6 Fazit 19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ANPR Kamera 5
Abbildung 2: NeuroCar Terminal (mobile Steuereinheit) 5
Abbildung 3: Standorte (Quelle Kartenmaterial LANUV) 8
Abbildung 4: Steckbrief 10
Abbildung 5: Installation Clevischer Ring 11
Abbildung 6: Installation Luxemburger Straße 12
Abbildung 7: Verteilung der Ortskennzeichen 15
Abbildung 8: Tagesverlauf Standort Luxemburger Straße 16
Abbildung 9: Tagesverlauf Standort Clevischer Ring 17
Abbildung 10: Tagesverlauf Standort Köln Weiden 18

1 Einleitung und Ausgangssituation

Zur Ermittlung der Wirksamkeit von Maßnahmen in Bezug auf die Stickstoffdioxidbelastung, ist im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sowohl die Ausgangssituation (Jahr 2017) als auch die zu erwartende Trendentwicklung der Verkehrs- und Schadstoffbelastung der nächsten 3 Jahre zu bestimmen. Der Untersuchungsraum erstreckt sich über 3 Standorte an dem jeweiligen Straßenabschnitt der kontinuierlichen Messstation des Landesumweltamtes NRW am Clevischen Ring (VKCL) in Köln-Mülheim, an den Passivsammler an der Luxemburger Straße (VKLS) in Köln-Lindenthal und dem Rheincenter in Köln-Weiden (KWEI).

Neben der Berechnung der Prognosen ist die Erhebung der Kennzeichen ebenfalls ein Aufgabenteil des Projektes. Die Durchführung erfolgte mittels dem Kamerasystem NeuroCar, welches in der Lage ist, Fahrzeuge zu identifizieren sowie die Kennzeichen, die Kreiskennung und die Nationalität zu erfassen. Alle 3 Standorte waren beidseitig zu erfassen.

Nachfolgend werden die eingesetzte Technik, die Vorbereitungen der Erhebung und die Installation der Kameras sowie die Auswertungen und Ergebnisse dokumentiert.

1.1 Technologiebeschreibung (NeuroCar)

Die eingesetzte Technologie ist Kernpunkt der Erhebungen zur Bestimmung der Kennzeichen. Sie basiert auf der Integration markführender Hardware- sowie firmeneigener Software- und Elektronikkomponenten. Das eingesetzte Messsystem ist modular und flexibel aufgebaut, so dass es mit geringen Anpassungen bei unterschiedlichen Standortbedingungen eingesetzt werden kann.

1.1.1 Systemaufbau

An jedem Messquerschnitt wurde eine Messanlage aufgebaut, die aus folgenden Komponenten besteht:

- **Kamera** – Die ANPR Kamera (Abbildung 1) dient der Erfassung des Kfz-Kennzeichens. Die Kamera befindet sich in einem wetterfesten Gehäuse mit Heizung und ist mit einem Infrarotstrahler ausgestattet.
- **NC Terminal** (Steuereinheit) – Das Terminal (Abbildung 2) wird zur Bearbeitung der von den Kameras übertragenen Messdaten und ihre vorübergehende installiert. Die Rechenleistung wird auf die lokale Verkehrsstärke abgestimmt; die eingebaute Speicherkapazität garantiert eine vollständige Datenarchivierung. Jede Steuereinheit einschließlich aller Netzteile, Switches und Sicherungen befindet sich in einem wetterfesten Gehäuse, das am Mastfuß diebstahlsicher positioniert wurde.
- **Stromversorgung** – Der Betrieb der Messsysteme wurde durch Akkusysteme gesichert, die in wetterfesten, verschließbaren Boxen am Mastfuß aufgestellt werden.

Abbildung 1: ANPR Kamera

Abbildung 2: NeuroCar Terminal (mobile Steuereinheit)

1.1.2 Funktionsbeschreibung

Zur Erfassung der Kennzeichen wurde in jedem Terminal das System NeuroCar installiert. Dabei handelt es sich um ein elektronisches System zur automatischen Detektion von Fahrzeugen und der Kennzeichenerkennung. Die Fahrzeugerkennung basiert ausschließlich auf der Analyse von Videobildern.

Im Erkennungsprozess werden aufeinanderfolgende Bilder eines Videostreams analysiert. Auf dieser Basis detektiert das System zuerst die Anwesenheit eines Fahrzeugs und bestimmt anschließend dessen Kennzeichen. Die Analyse eines Videobildes beansprucht weniger als 40ms eines Prozessorkerns und wird damit vor dem Erscheinen des nächsten Bildes abgeschlossen. Für jedes Fahrzeug werden - in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Kameraeinstellung - zwischen 3 und 10 Bildern erstellt. Alle Bilder einer Sequenz werden separat analysiert; die Ergebnisse anschließend bewertet und verglichen.

Die Zuverlässigkeit bei der Fahrzeugidentifizierung hängt maßgeblich von den Belichtungsverhältnissen und vom Blickwinkel der Kamera (und den damit verbundenen Parametern für Vergrößerung, Skalierung und Drehung) ab. Angestrebt werden eine optimale Kamerapositionierung sowie Einstellungen der Systemparameter, die der Charakteristik des Messpunktes am besten entsprechen. In jeder Messeinheit wird ein IR-Strahler integriert, so dass die Kamera bei ungünstigen Belichtungsverhältnissen auf Infrarotaufnahmen umschalten kann. Dies geschieht automatisch.

1.2 Datenbeschreibung

1.2.1 Aufbereitung der Rohdaten

Die Rohdaten werden kontinuierlich in Echtzeit von den Terminals gesammelt und lokal gespeichert Zur Aufbereitung der Rohdaten wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Übertragung der Daten auf einen gesicherten Server (Zugriff nur durch projektzugehöriges Personal)
- Prüfung der Vollständigkeit und Plausibilität der Messdaten mit dem Ziel Gründe für mögliche Fehlerursachen bei Ausfällen zu ermitteln und zu beheben
- Prüfung der Plausibilität teils mittels systemgenerierter Parameter und teils manuell. Ergebnisdarstellung in Form einer Tabelle gemäß den Vorgaben des Kraftfahrtbundesamtes (KBA)

1.2.2 Zulassung Datenschutz

Das angewendete Verfahren wurde durch Neurosoft im Vorlauf des Projektes beschrieben und die Angaben zum Datenschutz durch den Datenschutzbeauftragten der Stadt Köln in einem Vor-Ort-Termin überprüft.

Zur Absicherung der Daten vor dem Zugriff Unbefugter wurde das System während der Messung diebstahlsicher verschlossen. Nach Abschluss der Messung wurden die Systeme durch Neurosoft abgeholt und die Daten auf ein gesichertes Laufwerk übertragen und von den Steuereinheiten vollständig gelöscht.

Bei der Erhebung handelt sich um keine Vollerfassung – sie bezieht sich nur auf festgelegte Messquerschnitte (im Zuständigkeitsbereich der Stadt Köln) und ist zeitlich auf 24h beschränkt. Die Auswertung erfolgt ausschließlich nach den vertraglich festgelegten Richtlinien.

2 Vorbereitung der Erhebung

2.1 Kriterien der Standortwahl

Entsprechend den Vorgaben des Amtes für Umwelt- und Verbraucherschutz der Stadt Köln wurden die Messquerschnitte wie folgt definiert:

- Vorgabe der Standorte:
    - Clevischer Ring (VKCL) in Köln-Mülheim,
    - Luxemburger Straße (VKLS) in Köln-Lindenthal und
    - Rheincenter in Köln-Weiden (KWEI).
- Die Erfassung ist über 24h in beide Fahrtrichtungen über sämtliche Fahrspuren durchzuführen.

Die Lage der ausgewählten Standorte sind in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Standorte (Quelle Kartenmaterial LANUV)

Anforderungen an die Standortwahl wurden durch die technische Realisierbarkeit und mögliche Störfaktoren bestimmt. Dazu zählen:

- Nutzung der bestehenden Infrastruktur – d.h. möglichst vorhandene Überführungsbauwerke und seitliche Masten
- Keine Installation von Messquerschnitten in Baustellenbereich
- Keine oder möglichst geringe Beeinträchtigung des Verkehrs durch die Installationen
- Vermeidung von Störfaktoren, wie z.B. Messen oder andere Veranstaltungen, Unfälle und Sperrungen

2.2 Festlegung der Messquerschnitte

Die Festlegung der Messquerschnitte erfolgte grundsätzlich nach folgendem Muster:

1. Begehung der Standorte gemeinsam mit dem Amt für Umwelt- und Verbraucherschutz (Stadt Köln)
2. Analyse der technischen Realisierbarkeit, Vorbereitung technischer Projekte für jeden Messquerschnitt/jede Fahrtrichtung zwecks Abstimmung mit der Stadt Köln
3. Beschaffung aller notwendigen Bewilligungen und Genehmigungen

2.3 MQ-Aufbaustruktur (Steckbriefe)

Ein typischer Messquerschnitt besteht aus einer Messkamera, die an eine Steuereinheit und das Akkusystem angeschlossen sind. Die Kameras werden nach Möglichkeit an einer Überkopfeinrichtung (Schilderbrücke, Verkehrsbrücke, Mast, Schildergerüst) montiert und decken mit ihrem Blickfeld die ganze Fahrbahn (alle Spuren) ab.

Im Vorlauf wurden hierzu Steckbriefe zu sämtlichen Standorten erstellt, die die örtlichen Gegebenheiten abbilden und als Planungsgrundlage für die Installation und Erhebung darstellen. Das Muster eines Steckbriefes ist in Abbildung 4 dargestellt.

Standort VKCL

Fahrtrichtung Köln Deutz

Schilderbrücke; GPS 50.962838, 7.004605, Höhe Julius-Bau-Straße

Strom über Akkubetrieb, Verkehrssicherung nötig

3 Fahrstreifen in Fahrtrichtung Köln Deutz
eine Messkamera + Steuereinheit
Montage der Kameras an Schilderbrücke, Montage der Steuereinheit am Fuß, mit Bändern befestigt

Bild 1 – geografische Einordnung

Abbildung 4: Steckbrief

3 Installation der Kamerasysteme

Verantwortlicher Bauleiter der Installationen seitens Neurosoft war Herr Kay Weltring. Zusätzlich wurde ein Mitarbeiter zur Montage eingesetzt. Jeder Mitarbeiter, der an den Vorbereitungs-, Installations- und Abbauarbeiten beteiligt war, hat eine MVAS Schulung absolviert und verfügt über einen entsprechenden Nachweis.

3.1 Vorgehensweise

Die Installationstermine wurden in Absprache mit der Stadt Köln festgelegt. Die Installationsstelle wurde von einer privaten Absicherungsfirma abgesichert. Die Absicherung diente dem Schutz der Verkehrsteilnehmer vor Gegenständen, die bei der Montage der Halterungen und der Geräte hätten herunterfallen können.

An jedem Messquerschnitt kam ein optisches Fahrzeugidentifizierungssystem zum Einsatz; die konkrete Realisierung des Systems wurde in Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten gewählt. Maßgebend waren dabei die Art des Mastes/ Überkopfbauwerks.

Abbildung 5: Installation Clevischer Ring

Abbildung 6: Installation Luxemburger Straße

4 Aufbereitung der Daten

Seitens der Videokameras wurden die Kennzeichen erfasst und auf den lokalen Steuereinheiten gespeichert. Anschließend wurden die Daten auf einen lokalen, gesicherten Server im Büro in Bergisch Gladbach übertragen, plausibilisiert und ausgewertet, bzw. für die weitere Verarbeitung durch das Kraftfahrtbundesamt vorbereitet.

Zu jedem erfassten Fahrzeug sind die folgenden wesentlichen Informationen enthalten:

- Zeitstempel (UTC)
- Standort
- Fahrzeugklasse (nicht verwendet)
- Geschwindigkeit (nicht verwendet)
- Fahrstreifen (nicht verwendet)
- Nationalität
- Ortskennung
- Kennzeichen
- Fahrzeugmarke (nicht verwendet)
- Fahrzeugmodell (nicht verwendet)
- Fahrzeugfarbe (nicht verwendet)
- Detektionsgüte (Divergence-Wert)

Folgende Fahrzeug-Eigenschaften sind hervorzuheben: Zeitstempel (in den Rohdaten noch millisekundengenau), Standort, Nationalität, Orts- und Länderkennung des Fahrzeugs sowie das Kennzeichen. Anhand dieser Parameter konnten die Kennzeichendaten für die weitere Verarbeitung vorbereitet werden. Darunter fallen die Zuordnung des Kennzeichens zu einem Standort, einer Fahrtrichtung sowie einem Zeitstempel. Die weiteren Merkmale wurden für diese Untersuchung nicht verwendet.

Für die Abfrage beim Kraftfahrtbundesamt wurden sämtliche Datensätze der Standorte in einer Matrix (csv Datei) übergeben. Aus den bearbeiteten Daten ergab sich eine Rücklaufquote von ca. 98,9%. Insgesamt konnten nur 1.055 Fahrzeuge nicht zugeordnet werden. Dies ist entweder auf ein nicht korrekt gelesenes oder ein zwischen der Erhebung und Abfrage abgemeldeten Kennzeichen zurückzuführen.

5 Auswertung und Datenübergabe

Mit Hilfe der erhobenen Daten können zahlreiche Auswertungen durchgeführt werden. Bezogen auf die vorliegende Aufgabenstellung stellen die Aufstellung der Kennzeichenliste für die Übergabe an das KBA und im Anschluss weitere Verarbeitung durch das Ingenieurbüro AVISO sowie die Auswertung der stündlichen Verkehrsstärken und häufigsten Ortskennungen die zentralen Aufgaben dar.

5.1 Häufigkeitsverteilung der Ortskennung

Im Zuge der Erfassung wurden unter anderem die Ortskennzeichen sämtlicher Fahrzeuge gemessen. Hintergrund ist die Möglichkeit Aussagen über die Zusammensetzung des Verkehrs treffen zu können hinsichtlich der Aspekte:

- Lokaler Verkehr
- Regionaler Verkehr (Stadt-Umland-Verkehr)
- Inländischer/ ausländischer Verkehr
- Sonstige Auffälligkeiten

Hierzu wurde aus dem Gesamtdatensatz eine Auswahl der 30 häufigsten Ortskennzeichen (Inland unterteilt, Ausland zusammengefasst) für alle Standorte aufgestellt und die jeweiligen Anteile berechnet. Der Anteil der betrachteten Fahrzeuge stellt dabei 91% des Gesamtanteils (Abbildung 7).

Erwartungsgemäß treten die Kölner Verkehrszeichen über alle Standorte am häufigsten auf. Die prozentualen Anteile liegen für die einzelnen Standorte zwischen ca. 40 und 60% (Abbildung 7) und in Gesamtbetrachtung bei über 52%. Die weiteren Anteile setzen sich größtenteils aus Fahrzeugen aus dem Stadt-Umland und den der Region zusammen. Beispielhaft seien hier Fahrzeuge aus Bergheim, Leverkusen oder dem Rheinisch Bergischen Kreis genannt.

Standort	VKLS		VKLS		VKCL		VKCL		KWEI		KWEI		Gesamt	
Fahrtrichtung	Zentrum		Sülz		Deutz		Leverkusen		Frechen		Zentrum			
Verteilung	Total	Anteil	Total	Anteil	Total	Anteil	Total	Anteil	Total	Anteil	Total	Anteil	Total	Anteil
Köln [K]	4806	49,38%	5265	46,36%	17047	60,51%	13787	59,02%	4290	39,99%	4467	39,24%	49662	52,42%
Bergheim [BM]	1638	16,83%	2020	17,79%	802	2,85%	737	3,16%	3480	32,44%	3507	30,81%	12184	12,86%
Rh.-Berg.-Kreis [GL]	208	2,14%	211	1,86%	1768	6,28%	1401	6,00%	189	1,76%	184	1,62%	3961	4,18%
Leverkusen [LEV]	59	0,61%	96	0,85%	1533	5,44%	1493	6,39%	79	0,74%	80	0,70%	3340	3,53%
Rhein-Sieg-Kreis [SU]	328	3,37%	436	3,84%	483	1,71%	371	1,59%	267	2,49%	288	2,53%	2173	2,29%
ausländ. Kennzeichen	216	2,22%	240	2,11%	653	2,32%	493	2,11%	115	1,07%	251	2,20%	1968	2,08%
Bonn [BN]	210	2,16%	319	2,81%	224	0,80%	176	0,75%	137	1,28%	157	1,38%	1223	1,29%
Mettmann [ME]	55	0,57%	53	0,47%	405	1,44%	376	1,61%	107	1,00%	94	0,83%	1090	1,15%
München [M]	127	1,30%	151	1,33%	243	0,86%	207	0,89%	112	1,04%	96	0,84%	936	0,99%
Euskirchen [EU]	157	1,61%	157	1,38%	169	0,60%	148	0,63%	156	1,45%	146	1,28%	933	0,98%
Düren [DN]	188	1,93%	210	1,85%	124	0,44%	104	0,45%	136	1,27%	156	1,37%	918	0,97%
Aachen [AC]	214	2,20%	251	2,21%	95	0,34%	76	0,33%	102	0,95%	123	1,08%	861	0,91%
Düsseldorf [D]	52	0,53%	73	0,64%	250	0,89%	198	0,85%	123	1,15%	133	1,17%	829	0,88%
Neuss [NE]	69	0,71%	99	0,87%	265	0,94%	172	0,74%	85	0,79%	122	1,07%	812	0,86%
Gummersbach [GM]	69	0,71%	75	0,66%	205	0,73%	198	0,85%	60	0,56%	72	0,63%	679	0,72%
Hamburg [HH]	60	0,62%	67	0,59%	150	0,53%	125	0,54%	58	0,54%	53	0,47%	513	0,54%
Berlin [B]	54	0,55%	84	0,74%	145	0,51%	133	0,57%	40	0,37%	50	0,44%	506	0,53%
Essen [E]	22	0,23%	35	0,31%	142	0,50%	123	0,53%	23	0,21%	38	0,33%	383	0,40%
Solingen [SG]	16	0,16%	18	0,16%	148	0,53%	152	0,65%	22	0,21%	26	0,23%	382	0,40%
Wuppertal [W]	20	0,21%	25	0,22%	135	0,48%	123	0,53%	20	0,19%	28	0,25%	351	0,37%
Wiesbaden [WI]	32	0,33%	43	0,38%	90	0,32%	115	0,49%	32	0,30%	26	0,23%	338	0,36%
Frankfurt [F]	41	0,42%	43	0,38%	85	0,30%	55	0,24%	28	0,26%	30	0,26%	282	0,30%
Bochum [BO]	22	0,23%	25	0,22%	85	0,30%	97	0,42%	16	0,15%	22	0,19%	267	0,28%
Duisburg [DU]	13	0,13%	15	0,13%	99	0,35%	77	0,33%	24	0,22%	35	0,31%	263	0,28%
Mönchengladbach [MG]	36	0,37%	51	0,45%	48	0,17%	38	0,16%	25	0,23%	24	0,21%	222	0,23%
Opladen [OP]	4	0,04%	5	0,04%	93	0,33%	98	0,42%	6	0,06%	6	0,05%	212	0,22%
Heinsberg [HS]	54	0,55%	58	0,51%	27	0,10%	25	0,11%	19	0,18%	18	0,16%	201	0,21%
Remscheid [RS]	5	0,05%	14	0,12%	62	0,22%	64	0,27%	25	0,23%	17	0,15%	187	0,20%
Dortmund [DO]	8	0,08%	17	0,15%	68	0,24%	63	0,27%	17	0,16%	13	0,11%	186	0,20%
Märkischer Kreis [MK]	21	0,22%	23	0,20%	56	0,20%	45	0,19%	15	0,14%	26	0,23%	186	0,20%
Neuwied [NR]	22	0,23%	23	0,20%	52	0,18%	38	0,16%	17	0,16%	29	0,25%	181	0,19%

Abbildung 7: Verteilung der Ortskennzeichen

Der Anteil der weiter entfernten Herkunftsorte fällt insgesamt relativ gering aus, wie z.B. das Kennzeichen mit der Ortskennung München, dem mit ca. 1% Anteil an der Gesamtverteilung zahlenmäßig am häufigsten auftretenden Kennzeichen dieser Kategorie.

Die ausländischen Kennzeichen stellen in Summe mit ca. 2% ebenfalls nur einen geringen Anteil in der Gesamtbetrachtung.

5.2 Verteilung der Tagesverläufe

Die Erfassung der Kennzeichen erfolgte in der Kalenderwoche 39, zwischen Dienstag und Donnerstag. Gewertet wurden ausschließlich störungsfreie Messungen, d.h. Unfälle, erhöhtes Aufkommen durch Messen oder Veranstaltungen oder Baustellen wurden vermieden. Insgesamt sind 24h durchgängig auszuwerten. Zur vereinfachten Darstellung werden die Zeitintervalle von 0-24 Uhr dargestellt, d.h. der Messzeitraum eines Vortages wird angehangen.

Kategorisiert wurden die Verkehrsstärken nach Herkunftsgruppen:

- Kölner Kennzeichen
- Inländische Kennzeichen
- Ausländische Kennzeichen

Zusätzlich wurde die Differenz der Verkehrsstärke der beiden Fahrtrichtungen pro Standort berechnet. Für die 3 Standorte ergab sich daraus folgende Zusammensetzung der Verkehrsstärken (Kfz/h):

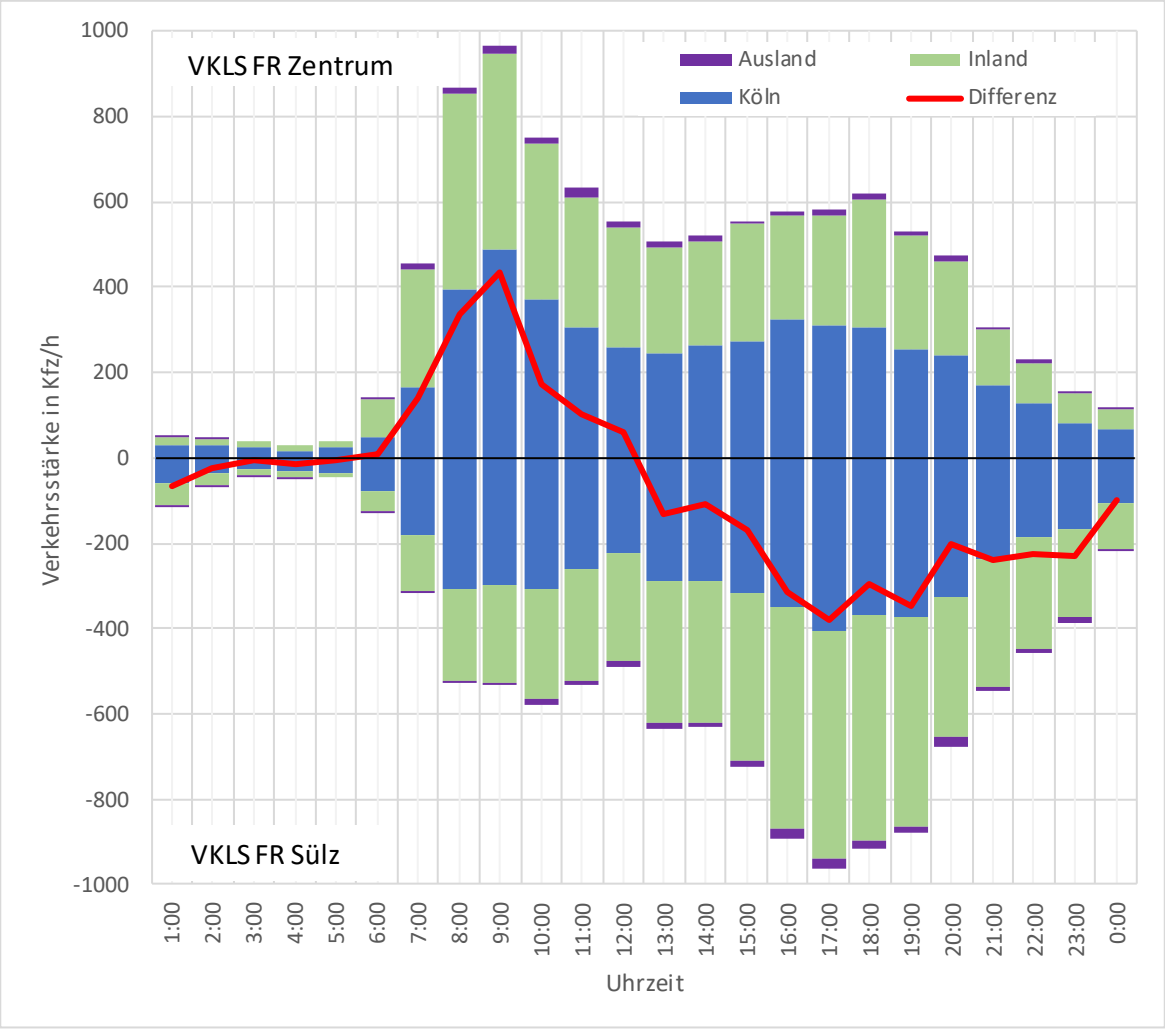


Abbildung 8: Tagesverlauf Standort Luxemburger Straße

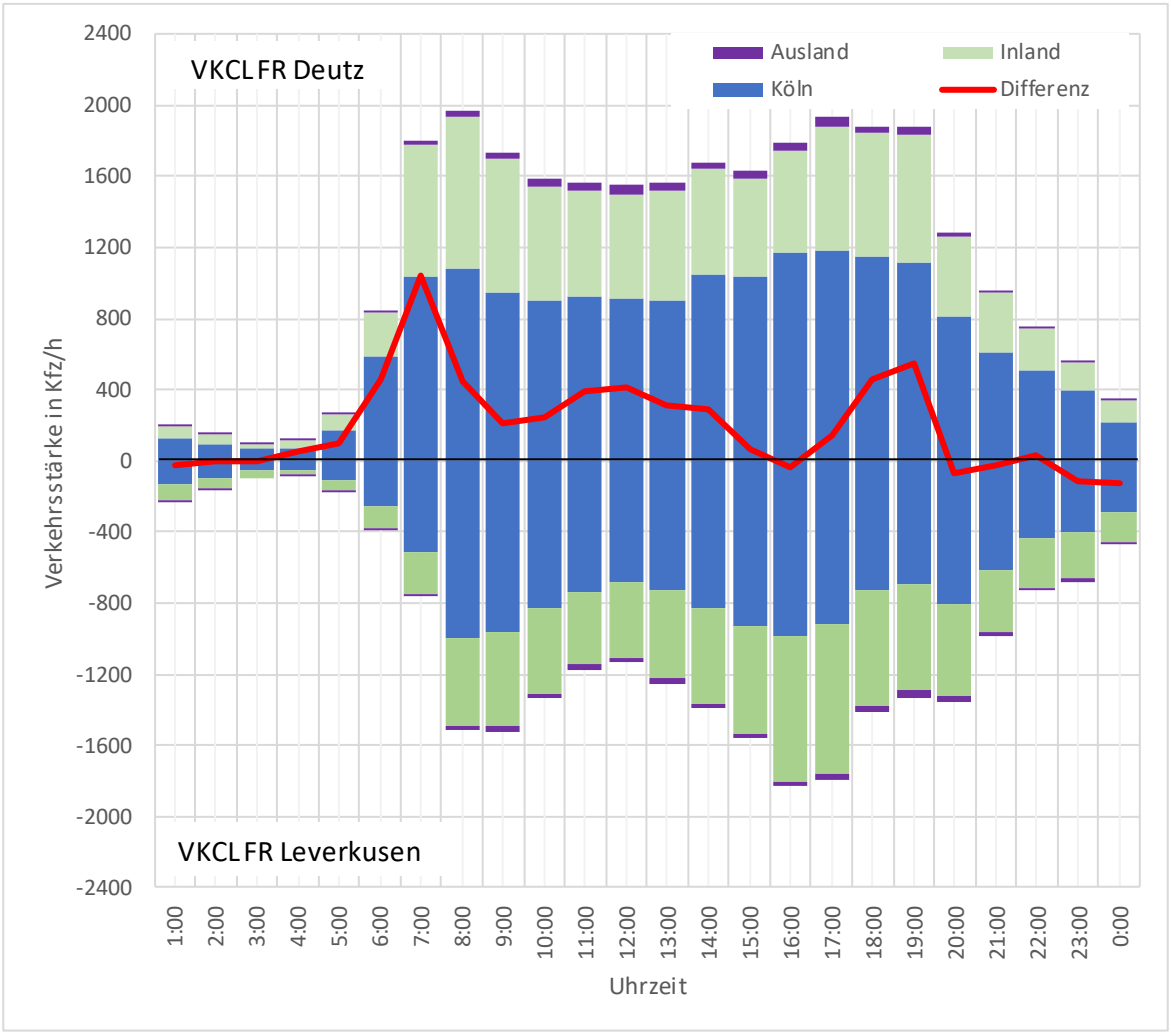


Abbildung 9: Tagesverlauf Standort Clevischer Ring

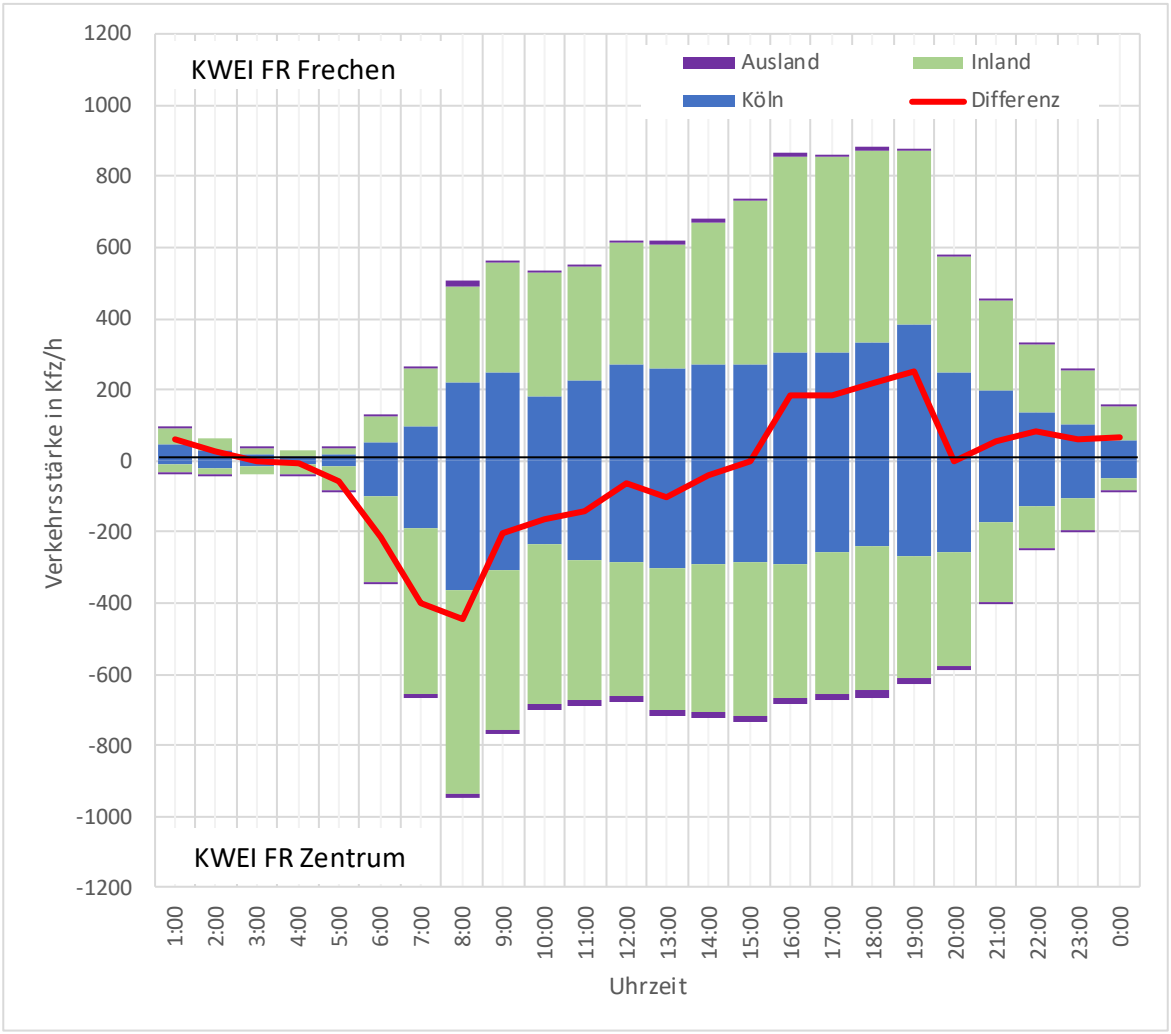


Abbildung 10: Tagesverlauf Standort Köln Weiden

Alle 3 Standorte weisen jeweils eine Vormittags- und Nachmittagsspitze auf. Zusätzlich ist anhand der Standorte Luxemburger Straße und Köln Weiden zu erkennen, dass eine asynchrone Verteilung der Fahrtrichtungen vorhanden ist. In der Morgenspitze überwiegen die Fahrzeuge in Fahrtrichtung Köln, in der Nachmittags-/ Abendspitze die Fahrzeuge in entgegengesetzte Fahrtrichtung.

Für den Standort Clevischer Ring zeigt sich, dass die Belastung zu den Spitzenstunden in Fahrtrichtung Köln jeweils überwiegt.

6 Fazit

Im Zuge der Untersuchung „Ermittlung von NO2-Minderungpotenzialen“ wurde eine Erfassung von Kennzeichen an 3 Standorten mit jeweils 2 Fahrtrichtungen durchgeführt. Hauptaspekt ist dabei die Zusammensetzung der Fahrzeuge, die an den Standorten gemessen werden, da diese die Basis der weiteren Berechnungen zur Luftqualität darstellen.

Der Untersuchungsraum erstreckte sich über 3 Standorte am Clevischen Ring (VKCL), in Köln-Mülheim, der Luxemburger Straße (VKLS) in Köln-Lindenthal und am Rheincenter in Köln-Weiden (KWEI). Insgesamt wurden 94.734 Kennzeichendatensätze erhoben.

Ein sorgfältiger Umgang mit den Daten wurde durch Schutzmaßnahmen gewährleistet. Sowohl die technische Ausrüstung, als auch der Umgang mit den Daten wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt und durch den zuständigen Datenschützer überprüft.

Im Anschluss an die Plausibilisierung und Erstellung des Gesamtdatensatzes wurden die Daten für den Abgleich mit dem zentralen Fahrzeugregister an das Kraftfahrtbundesamt übergeben. Die Rückläufer wurden direkt an das zuständige Ingenieurbüro für die weitere Bearbeitung übermittelt. Insgesamt ist eine Rücklaufquote von 98,9% erreicht worden.

Zusätzlich wurden ergänzende Auswertungen der stündlichen Verkehrsstärke sowie der Gesamtanzahl der häufig auftretenden Ortskennzeichen aus den Daten erarbeitet. Hieraus lässt sich ableiten, dass der Großteil der Fahrzeuge aus Köln und dem näheren Umland stammt. Des Weiteren lassen sich anhand der grafischen Darstellungen der stündlichen Verkehrsstärken die typischen Verkehrsspitzen sowie die fahrtrichtungsbezogenen Hauptbelastungen der einzelnen Standorte ablesen.