

## **SIMULATIONEN UND MODELLIERUNG**

## **IM RAHMEN DES**

## **AKTIONSPLAN LUFTREINHALTUNG IN STÄDTEN**

**Maßnahmen und deren Wirkungen zur Reduzierung der  
NO<sub>2</sub>-Immissionen in der Landeshauptstadt Kiel**



**Karlsruhe / Berlin / Dresden, 14. Dezember 2018**

## Dokumentinformationen

Kurztitel	VDA Initiative Luftreinhaltung in Städten - Kiel
Auftraggeber:	Volkswagen Forschung
Auftrags-Nr.:	C414638 / C822072
Auftragnehmer:	PTV AG und PTV Transport Consult GmbH
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Birgit Uhlig Dipl.-Ing. Martin Schenk Dr.-Ing. Uwe Reiter
Erstellungsdatum:	14.12.2018

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Aufgabenverständnis</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Maßnahmenidentifikation und Modellaufbau</b> .....	<b>11</b>
2.1	Identifikation, Auswahl und Beschreibung der Maßnahmen.....	11
2.2	Ausgewählte Maßnahmen.....	13
2.3	Aufbau des makroskopischen Verkehrs- und Umweltmodells.....	17
<b>3</b>	<b>Bewertung Wirkung der Maßnahmen</b> .....	<b>26</b>
3.1	Stadtweite Modellierung mit makroskopischen Wirkungsberechnungen	26
3.1.1	Modellgrundlagen	26
3.1.2	Wirkungsauswertung und Wirkungsdarstellung	29
3.2	Lokale Simulation mit mikroskopischer Wirkungsberechnung.....	51
3.2.1	Simulation Verkehr	51
3.2.2	Verkehrliche Wirkungen	57
3.2.3	Auswirkungen auf die verkehrlichen Emissionen	65
3.3	Zusammenfassung der Wirkungen .....	67
3.3.1	Verkehrsmengen am THR	67
3.3.2	Verkehrsablauf am THR	68
3.3.3	Emissionen	68
3.3.4	Immissionen	70
3.4	Bewertung zusätzliche Varianten der Stadt Kiel vom 19.10.2018 .....	71
3.4.1	Variante 1 - Dieselfahrverbote auf dem rechten Fahrstreifen	71
3.4.2	Variante 2 - Busspur mit E-Fahrzeugen/ Fahrgemeinschaften - Umweltfahrstreifen	72
3.5	Grundlagen der Umsetzung .....	75
3.5.1	Geschätzte Umsetzungszeiten	75
3.5.2	Geschätzte Investitions- und Betriebskosten	75
<b>4</b>	<b>Entwicklung Umsetzungsvorschlag</b> .....	<b>77</b>
4.1	Mögliche Varianten zur Einhaltung der Grenzwerte.....	77
4.1.1	Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring	77
4.1.2	Integriertes umweltorientiertes Alternativszenario	77
4.2	Verkehrliche Bewertung der beiden Varianten.....	81

4.2.1	Verkehrliche Auswirkungen der Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring	81
4.2.2	Verkehrliche Auswirkungen im integrierten umweltorientierten Alternativszenario	82
4.3	Bewertung der Immissionswirkung der beiden Varianten .....	84
4.3.1	Auswirkungen Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring auf die Immissionssituation	84
4.3.2	Auswirkungen Integriertes umweltorientiertes Alternativszenario auf die Immissionssituation	87
<b>5</b>	<b>Weitere Unterstützung durch die PTV und Nutzung der Werkzeuge und Ergebnisse .....</b>	<b>90</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>91</b>
	<b>Anlagen .....</b>	<b>92</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Maßnahmenkatalog	12
Tabelle 2:	Hintergrundbelastung Kiel	19
Tabelle 3:	Gemessene / berechnete NO <sub>2</sub> - und PM10-Konzentrationen Bahnhofstraße	22
Tabelle 4:	Gemessene / berechnete NO <sub>2</sub> - und PM10-Konzentrationen Max-Planck- Straße	24
Tabelle 5:	Gemessene / berechnete NO <sub>2</sub> - und PM10-Konzentrationen THR (Nord)	24
Tabelle 6:	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse THR (Nord)	25
Tabelle 7:	Verkehrliche Wirkung der untersuchten Maßnahmen am THR	30
Tabelle 8:	Theodor-Heuss-Ring - Verkehrsanteile richtungsdifferenziert	31
Tabelle 9:	Modale Verkehrsverlagerungen im Planfall 5	38
Tabelle 10:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 00	39
Tabelle 11:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 00 - Variante 1	40
Tabelle 12:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 01 - Variante 1	40
Tabelle 13:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 02 - Variante 1	40
Tabelle 14:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 03 - Variante 1	41
Tabelle 15:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 04 - Variante 1	41
Tabelle 16:	Fahrstreifenaufteilung Planfall 05-2 - Variante 1	41
Tabelle 17:	NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Emissionen - Bilanzgebiet Kiel - Flottenentwicklung	43
Tabelle 18:	NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Emissionen - Bilanzgebiet Theodor-Heuss-Ring - Flottenentwicklung	44
Tabelle 19:	NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Emissionen - Bilanzgebiet Kiel - verkehrliche Maßnahmen	44
Tabelle 20:	NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Emissionen - Bilanzgebiet Theodor-Heuss-Ring - verkehrliche Maßnahmen	46
Tabelle 21:	Kenngößen Betroffenheit von NO <sub>2</sub> -Immissionen Stadtgebiet Kiel	47
Tabelle 22:	Jahresmittelwerte NO <sub>2</sub> -Immissionen am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord)	48
Tabelle 23:	Jahresmittelwerte NO <sub>2</sub> -Immissionen in der Bahnhofstraße	49
Tabelle 24:	Jahresmittelwerte NO <sub>2</sub> -Immissionen an der Max-Planck-Straße	50
Tabelle 25:	Reduktionspotenzial NO <sub>x</sub> -Emissionen Fläche	66
Tabelle 26:	Reduktionspotenzial NO <sub>x</sub> -Emissionen direkt am Theodor-Heuss-Ring	67

Tabelle 27:	Reduktionspotenzial PF 01 - 04 am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord)	84
Tabelle 28:	Differenzen der Betroffenheit PF 01 - 04 von NO <sub>2</sub> -Immissionen Stadtgebiet Kiel	87
Tabelle 29:	Reduktionspotenzial PF 05 am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord)	88
Tabelle 30:	Differenzen der Betroffenheit PF 05 von NO <sub>2</sub> -Immissionen Stadtgebiet Kiel	89

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	NO <sub>2</sub> -Hotspot in Kiel	10
Abbildung 2:	Kiel Theodor-Heuss-Ring	10
Abbildung 3:	Planfälle für die makroskopischen Untersuchungen	15
Abbildung 4:	Vereinfachte Darstellung der räuml. Belastungsbeiträge in einer Stadt	17
Abbildung 5:	Messstation Bahnhofstraße	22
Abbildung 6:	Zusätzliche Berechnungspunkte Bahnhofstraße	23
Abbildung 7:	Hintergrundmessstation Max-Planck-Straße	23
Abbildung 8:	Messstation Theodor-Heuss-Ring	24
Abbildung 9:	Zusätzliche Berechnungspunkte Theodor-Heuss-Ring	25
Abbildung 10:	Flottenvergleich 2017	27
Abbildung 11:	Natürliche Flottenentwicklung Diesel-Pkw	28
Abbildung 12:	Flottenentwicklung Diesel-Pkw mit Maßnahmen des Dieselpipfels	29
Abbildung 13:	Netzausschnitt PTV-Vissim Szenario 1 Abschnitt Barkauer Kreuz - Waldwiesenkreisel	53
Abbildung 14:	Netzausschnitt PTV-Vissim Szenario 2 Abschnitt Barkauer Kreuz - Waldwiesenkreisel	54
Abbildung 15:	Netzausschnitt PTV-Vissim Szenario 4 Abschnitt Barkauer Kreuz - Waldwiesenkreisel	57
Abbildung 16:	Simulationsdarstellung Bezugsfall Verflechtungsbereich THR Fahrrichtung Westen (Barkauer Kreuz im Hintergrund)	58
Abbildung 17:	Simulationsdarstellung Szenario 1 Verflechtungsbereich THR Fahrrichtung Westen (Barkauer Kreuz im Hintergrund)	59
Abbildung 18:	Ergebnisdarstellung relative Geschwindigkeit Szenario 1 Morgen, Ein- und Ausfahrten Bereich THR	61
Abbildung 19:	Simulationsdarstellung Szenario 3 Waldwiesenkreisel	62
Abbildung 20:	Simulationsdarstellung Szenario 3 Rondeel	63
Abbildung 21:	Simulationsdarstellung Szenario 4 Waldwiesenkreisel	64
Abbildung 22:	Enviver-Bilanzfläche	65
Abbildung 23:	Reduktionspotenzial NO <sub>x</sub> -Emissionen für S3, Morgenspitze	66
Abbildung 24:	Verkehrsmengen am THR	68
Abbildung 25:	NO <sub>2</sub> -Emissionen pro 24h am THR	69
Abbildung 26:	NO <sub>2</sub> -Emissionen pro 24h im Stadtgebiet Kiel	69

Abbildung 27: Modellierte Jahresmittelwerte der NO <sub>2</sub> -Immissionen an der Messstelle THR in Kiel	70
Abbildung 28: Geschätzte Umsetzungszeiten der Planfälle	75
Abbildung 29: Geschätzte Investitions- und Betriebskosten	76
Abbildung 30: Differenz NO <sub>2</sub> -Immissionen PF 01 2017 vs. PF 00 2017	85
Abbildung 31: Differenz NO <sub>2</sub> -Immissionen PF 02 2017 vs. PF 00 2017	85
Abbildung 32: Differenz NO <sub>2</sub> -Immissionen PF 03 2017 vs. PF 00 2017	86
Abbildung 33: Differenz NO <sub>2</sub> -Immissionen PF 04 2017 vs. PF 00 2017	86
Abbildung 34: Differenz NO <sub>2</sub> -Immissionen PF 05 2017 vs. PF 00 2017	88



## 1 Ausgangslage und Aufgabenverständnis

Der Bereich Forschung der Volkswagen AG möchte im Rahmen der VDA Initiative "Aktionsplan für Luftreinhaltung in Städten" in Kooperation mit den Städten Heilbronn, Ludwigsburg, Hannover und Kiel verkehrliche Maßnahmen für die Reduktion der Stickstoffdioxide (NO<sub>2</sub>) identifizieren und deren Wirkung quantitativ bewerten. Die quantitative Abschätzung der Wirkung soll dabei auf Basis von Modellen und Simulationen durchgeführt werden.

Die PTV AG ist der führende Hersteller von Software für Verkehrsmodellierung (PTV Visum) und Verkehrssimulation (PTV Vissim). Mit PTV Visum können städtische, regionale und nationale Verkehrsnachfragemodelle (makroskopische Modelle) erstellt und angewendet werden, um Verkehrsstärken auf dem betreffenden Straßennetz berechnen und prognostizieren zu können. Daran anschließend lassen sich Berechnungen zu Emissionen und durch Kopplung mit Immissionsmodellen auch zu Immissionen auf dem Straßennetz des Modellgebiets durchführen.

Die PTV AG arbeitet seit einiger Zeit mit der Niederländischen Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO) im Bereich der Verknüpfung von Verkehrs-, Emissions- und Immissionsmodellen zusammen. Ein PTV Visum Verkehrsmodell kann direkt und interaktiv mit dem TNO Tool Urban Strategy verknüpft werden, um die Ausbreitung der durch die Fahrzeuge emittierten Luftschadstoffe zu simulieren und Immissionswerte (z.B. NO<sub>2</sub>) an allen Stellen des Modellgebiets zu berechnen.

Um die Wirkungen von lokalen Maßnahmen, z.B. zur Vermeidung von Halte- und Beschleunigungsvorgänge zu berechnen, müssen hingegen mikroskopische Verkehrssimulationsmodelle eingesetzt werden. Dazu steht die Software PTV Vissim zur Verfügung. Mit PTV Vissim wird das Verhalten (Beschleunigen, Fahren, Bremsen, Anhalten, Spurwechsel) jedes einzelnen Fahrzeugs in einem Teilgebiet der betreffenden Stadt in Abhängigkeit des Verkehrszustands und des Verhaltens jedes anderen Fahrzeugs simuliert. Die Simulation von Signalanlagen und deren Schaltungslogik ist dabei Teil der Gesamtberechnung. Die Simulationsergebnisse aus PTV Vissim können dabei analog zur makroskopischen Modellierung mit Immissionsmodellen von TNO verbunden werden.

### Die Stadt Kiel

Kiel ist die Landeshauptstadt von Schleswig-Holstein. Mit ca. 247.500 Einwohnern gehört Kiel zu den 30 größten Städten Deutschlands und liegt als nördlichste Großstadt Deutschlands direkt an der Ostsee. Von Kiel aus führen die beiden Bundesautobahnen A210 und A215 auf die A7 Hamburg - Flensburg. Die Bundesstraßen B76 und B202 führen durch das Stadtgebiet und bilden eine wichtige und vielbefahrene innerstädtische Hauptverkehrsachse. Die Bundesstraßen B404 (wird perspektivisch zur A21 ausgebaut), B502 und B503 münden im Kieler Stadtgebiet auf diese Achse.

Einer der höchst frequentierten Abschnitte ist die B76 Theodor-Heuss-Ring zwischen dem Barkauer Kreuz und dem Waldwiesenkreisel mit ca. 106.000 Fahrzeugen pro Tag (siehe Anlage 1.1).

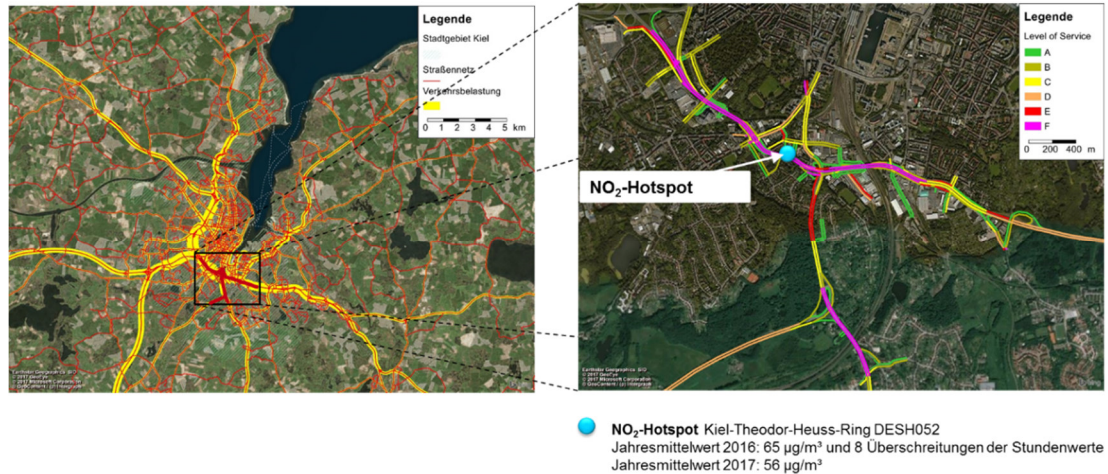


Abbildung 1: NO<sub>2</sub>-Hotspot in Kiel

In diesem Abschnitt befindet sich die Messstation DESH052 in der Statistik des Umweltbundesamtes, betrieben durch das Land SH. Die Stationsumgebung ist als städtisches Gebiet klassifiziert, Das heißt, die Umgebung der Station ist lückenlos mit mindestens zweistöckigen Häusern bebaut. Mit Ausnahme der privaten Grünfläche an der Liebfrauenkirche gibt es keine unbebauten Flächen. Die Station wird hauptsächlich von Emissionen aus dem Verkehr beeinflusst. Der Grenzwert für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) liegt seit dem 1. Januar 2010 bei 40 µg/m<sup>3</sup> als Jahresmittelwert. In Kiel wurden am Theodor-Heuss-Ring im Jahr 2016 als Jahresmittelwert 65 µg/m<sup>3</sup> mit 8 Überschreitungen der Stundenwerte von 200 µg/m<sup>3</sup> und im Jahr 2017 56 µg/m<sup>3</sup> ohne Überschreitungen der Stundenwerte gemessen.



Quelle: [1]

Abbildung 2: Kiel Theodor-Heuss-Ring

## 2 Maßnahmenidentifikation und Modellaufbau

Dieses Kapitel besteht aus zwei weitgehend unabhängigen Arbeitspaketen:

- Identifikation, Auswahl und Beschreibung der Maßnahmen
- Aufbau des makroskopischen Verkehrs- und Umweltmodellsystems zur Ermittlung von verkehrlichen Wirkungen, Emission und Immission.

### 2.1 Identifikation, Auswahl und Beschreibung der Maßnahmen

Die Zusammenstellung des Maßnahmenkatalogs erfolgt mehrstufig unter Berücksichtigung der lokalen Grundlagen und der allgemeinen Maßnahmenansätze. Grundsätzlich werden sieben Kategorien betrachtet, welche weiter mit Maßnahmen untersetzt sind.

In den Kategorien 0 und 1 wird untersucht, welche Entwicklungen und Handlungsansätze im Bereich der Fahrzeugtechnik zugrunde zu legen sind. Allgemeine Entwicklungen sind hierbei insbesondere kurz- bis mittelfristige Veränderungen der Flottenzusammensetzung, z.B. durch Verschiebung der Anteile Benziner / Diesel aufgrund der allgemeinen Marktentwicklung oder aufgrund einer beschleunigten Marktdurchdringung der Dieselmotoren ab Norm Euro 6. Hier sind ebenfalls Maßnahmen der Automobilindustrie zur Nachrüstung („Software-Update“) einbezogen. Die Auswirkungen der veränderten Flottenzusammensetzung wird, ebenso wie alle folgenden verkehrlichen Maßnahmen, auf Basis der kürzlich korrigierten und aktualisierten Emissionsfaktoren des HBEFA 3.3 ermittelt.

Basis der Maßnahmenbetrachtung der Kategorien 2 bis 6 liegen im lokalen Kontext der Informationen zur Luftreinhalteplanung in der jeweils untersuchten Stadt. Für eine umfassende und integrierte Betrachtung ist es erforderlich, die lokal diskutierten Maßnahmen in die Untersuchung mit aufzunehmen. Grundlage hierfür sind die bestehenden Luftreinhaltepläne, aber auch aktuelle Überlegungen und Diskussionen. In diesem Schritt müssen ebenfalls in der jeweiligen Stadt von der Politik ungewünschte Maßnahmen identifiziert werden, um diese entsprechend der Beschlüsse in der Planung nicht weiter zu berücksichtigen. Für diese Maßnahmen ist der Input der Workshops in Kiel am 13.02.2018 und 12.03.2018 von Bedeutung.

Kategorie	Maßnahme	Anmerkungen
0. Neue Randbedingungen		Natürliche Flottenerneuerung
1. Maßnahmen Diesel-Gipfel	Software-Updates, Umstiegsprämie	27.5% Reduzierung, 100% bei Euro-5-Pflicht, 80% bei freiwilligen
2. Lokale Anpassung Fahrzeugflotten	Erneuerung ÖV-Flotte	Austausch Diesel-Linienbusse; Austausch Diesel-Linienfähren
	Erneuerung der kommunalen Flotte	Fuhrparkumstellung städtischer Betriebe auf E-Mobilität

Kategorie	Maßnahme	Anmerkungen
	Private Fahrzeugflotten	Ausbau Schnell-Ladeinfrastruktur, Buchung von Ladeplätzen etc.
3. Räumliche und zeitliche Verlagerung Kfz-Verkehr	Fahrverbote & Umleitungen	Durchfahrtsverbote für versch. Fahrzeugkategorien am THR
	Parkraumbewirtschaftung	Gebiete mit hohem Parkdruck, kostenfreie Pendlerparkplätze etc.
4. Modale Verlagerung vom Kfz zum Umweltverbund	Angebotsverbesserung im ÖPNV	Optimierung ÖPNV-Konzept; Umbau ÖPNV-System
	Mobility as a Service / MaaS	Einführung Fahrgast-Pooling ähnlich BerlKönig, MOIA
5. Verstetigung des Verkehrsflusses	Intelligente Verkehrssteuerung	Verbesserung LSA-Koordinierung, Verkehrsabhängige Optimierung
	Reduzierung Tempolimit	Reduzierung von Tempo 70 auf Tempo 50
	Umweltsensitives Verkehrsmanagement	Zuflussregelung und umweltsensitive Optimierung der LSA
	Änderung Verkehrsführung	Sperrung Ein-/ Ausfahrten in Nebenstraßen des THR
6. Immissionsminderung	Abschirmung der Immissionsorte	Immissionsschutzwand, Halbtunnel, Tunnel mit Luftfilterung

Tabelle 1: Maßnahmenkatalog

Da auf dem Theodor-Heuss-Ring in Kiel gegenwärtig keine Linien des öffentlichen Nahverkehrs im Abschnitt zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz verkehren, werden in Kiel keine Maßnahmen der Kategorie 2 - lokale Anpassung Fahrzeugflotten - untersucht. Der Schwerpunkt der verkehrsplanerischen Maßnahmen, die mit Hilfe makroskopischer Modellrechnungen untersucht werden, liegt in den Kategorien 3 und 4. In denen Maßnahmen untersucht werden mit dem Ziel der räumlichen Verlagerung des Kfz-Verkehrs vom Theodor-Heuss-Ring auf andere Straßenabschnitte und modale Fahrtenverlagerungen vom individuellen Kfz-Verkehr hin zum Umweltverbund, also öffentlichen Verkehr sowie Fuß- und Radverkehr. Durch Mikrosimulation werden Maßnahmen der Kategorie 5 - Verstetigung des Verkehrsflusses - geprüft.

Ergänzend zu diesen Ansätzen werden zwei innovative Themenfelder näher betrachtet, die aus unserer Sicht in der aktuellen Diskussion von großer Bedeutung sind, nämlich die Themenfelder „Mobility as a Service“ und „Umweltsensitives Verkehrsmanagement“.

### Mobility as a Service

Digitalisierung und autonome Fahrzeuge werden die urbane Mobilität in den kommenden Jahren grundlegend verändern. In einigen deutschen Großstädten entstehen zurzeit erste App-basierte „Mobility as a Service“-Angebote. Man kann davon

ausgehen, dass diese Dienste bald zum alltäglichen Mobilitätsangebot gehören. Noch ist unklar, wie schnell ein relevanter Teil der urbanen Verkehrsnachfrage durch diese Angebote bedient werden kann. Simulationsstudien des International Transport Forums der OECD [2] zeigen, dass diese Angebote, falls sie als Ride-Sharing Dienste implementiert werden, zu einer relevanten Reduktion der Emissionen führen können. Es ist möglich, die Einführung dieser Angebote von Seiten der Städte so zu unterstützen, dass möglichst viele Fahrten des Pkw-Individualverkehrs kurzfristig ersetzt werden können. Auch wenn insbesondere das hochautomatisierte bzw. autonome Fahren dieses Themenfeld langfristig stark beeinflussen wird, kann auch kurz- bis mittelfristig schon mit einer Relevanz für die städtische Mobilität durch Ausweitung von digitalisierten Ride-Pooling Angeboten gerechnet werden.

## Umweltsensitives Verkehrsmanagement

In Deutschland wird vermehrt auf umweltsensitives Verkehrsmanagement gesetzt. Diese Ansätze basieren dabei auf einer langen Erfahrung an Varianten der Verkehrssteuerung, integrieren aber innovative Konzepte der Optimierung. Innerhalb dieser Studie sollen für die Stadt Kiel folgende Maßnahmen betrachtet werden:

- Verkehrsverlagerung und Verkehrslenkung zur Reduzierung der Verkehrsstärken, z.B. durch Zuflussdosierung oder Alternativroutensteuerung
- Verstetigung des Verkehrsflusses zur Verminderung emissionsintensiver Fahrzustände

Für die technische Umsetzung dieser Ziele werden die folgenden Ansätze angenommen:

- Integriertes Verkehrsmanagementsystem auf Basis eines permanenten Monitorings von Verkehrslage, Umwelt- und Klimadaten
- Einsatz von modernen bzw. aktualisierten Steuerungsverfahren unter Verwendung von Prognoseverfahren für die Verkehrsstärken (z.B. PTV Epics)
- Unterstützung von modernen Assistenzsystemen wie Ampel-Info von Audi (Car2X)

In Abstimmung mit der Stadt Kiel wird ein Simulationskorridor für die Wirkungsabschätzung dieser Maßnahmen ausgewählt. Die Wirkung dieser Maßnahmen wird durch mikroskopische Simulation berechnet und, falls Potenzial vorhanden ist, überschlägig auf die makroskopische Betrachtung übertragen.

## 2.2 Ausgewählte Maßnahmen

In Rücksprache mit dem Auftraggeber und der Stadt Kiel wurden die relevanten und erfolgversprechenden Maßnahmen ausgewählt. Als Grundlage dafür dienten Kriterien wie die erwartete Wirksamkeit, Umsetzungswahrscheinlichkeit, gegenseitige Abhängigkeit, Synergien oder gegenläufige Wirkungsrichtungen.

## Ausgewählte Maßnahmen makroskopischer Teil

- Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring
  - A. Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 in Fahrtrichtung Westen,
  - B. Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 in Fahrtrichtung Westen,
  - C. Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 in beiden Fahrtrichtungen,
  - D. Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 in beiden Fahrtrichtungen,
  - E. um die Entfernung der Kfz von Immissionshotspot zu vergrößern - Sperrung der rechten der Bebauung am nächsten liegenden Fahrspur Richtung Westen
- Umleitungen über Alte Lübecker Chaussee und Hamburger Chaussee
  - A. nur Beschilderung Vollsperrung für alle Kfz auf THR
  - B. in Verbindung mit Fahrverboten
  - C. Änderung Spuraufteilung, Abbieger (makroskopischer Teil: Temporeduzierung auf  $v_0=50\text{km/h}$  und Sperrung Zufahrten aus/ in Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings)
- Parkraumbewirtschaftung

Gebiete mit hohem Parkdruck (z.B. Universität, Innenstadt) Ausweitung Bewohnerparken, kostenfreie Pendlerparkplätze mit Zielgruppe Berufspendler
- Angebotsverbesserung im ÖPNV
  - A. ÖV-Angebotsqualität für Fahrbeziehungen Stadtrand/Umland - City steigern
  - B. Option Straßenbahn prüfen
  - C. ÖV-Anbindung der nichtintegrierten Einkaufszentren verbessern (Ostseepark; CITTI-Park, IKEA)
  - D. Tangentiale Verbindungen im Busnetz schaffen
  - E. Einführung Schnellbuslinie
- Mobility as a Service / MaaS
  - A. Einführung von Ride-Sharing-Angeboten

## Ausgewählte Maßnahmen mikroskopischer Teil

- Intelligente Verkehrssteuerung

Entlang Theodor-Heuss-Ring: Verknüpfung von Zuflussdosierung mit Koordinierung der LSA: Vermeidung von Stop-and-Go, Zuflussdosierung zum Theodor-Heuss-Ring, sodass nur die bewältigbare Verkehrsmenge auf dem Streckenabschnitt ist und dieser durch grüne Welle verstetigt wird

➤ Reduzierung Tempolimit

niedrigeres Tempo gegenüber Bestand zur Verminderung der Emission und zur Verstetigung des Verkehrsflusses auf Theodor-Heuss-Ring in Kombination mit Geschwindigkeits- und Abstandkontrollen und entsprechenden Bußgeldern

➤ Umweltsensitives Verkehrsmanagement

Echtzeit-Verkehrslageerfassung, -bewertung, Information und Steuerung am Theodor-Heuss Ring und Umgebung: Beschilderung, Wechselwegweisung, Steuerung der LSA, Zufahrtsbeschränkung aufgrund der Immissionslage

➤ Änderung Verkehrsführung

Temporeduzierung auf v0=50km/h und Sperrung Zufahrten aus/ in Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings, Änderung Fahrstreifenanordnung

**Maßnahmen zur direkten Immissionswirkung**

➤ Immissionsschutzwand unterschiedlicher Höhen und Formen

➤ Halbtunnel-Wandkonstruktion

➤ Tunnel/Überdachung mit Luftfilterung oder aktiver Durchlüftung

Aus diesen Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen wurden in Rücksprache und Koordination mit der Landeshauptstadt Kiel die folgenden zu untersuchenden Planfälle entwickelt:

<b>Bezugsfall</b>	Istzustand
<b>Planfall 01</b>	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf Theodor-Heuss-Ring in Fahrtrichtung Westen
<b>Planfall 02</b>	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf Theodor-Heuss-Ring in Fahrtrichtung Westen
<b>Planfall 03</b>	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen
<b>Planfall 04</b>	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen
<b>Planfall 05-1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnellbuslinie zwischen Ostseepark und Citti-Park</li> <li>• U-Schnellbuslinie von Neumühlen-Dietrichsdorf nach Wik</li> <li>• neue Bushaltestelle am Waldwiesenkreisel</li> <li>• Busspur auf Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz</li> <li>• Tempolimit 50 km/h auf Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz</li> <li>• plus Sperrung von Ein- und Ausfahrt in die Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings</li> </ul>
<b>Planfall 06</b>	Vollsperrung Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz
<b>Planfall 07</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempolimit 50 km/h auf Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz</li> <li>• Sperrung von Ein- und Ausfahrt in die Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings</li> </ul>
<b>Planfall 08</b>	Parkraummanagement
<b>Planfall 09</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnellbuslinie zwischen Bf Raisdorf und Mettenhof</li> <li>• U-Schnellbuslinie von Neumühlen-Dietrichsdorf nach Wik</li> <li>• neue Bushaltestelle am Waldwiesenkreisel</li> </ul>
<b>Planfall 10</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnellbuslinie zwischen Ostseepark und Citti-Park</li> <li>• U-Schnellbuslinie von Neumühlen-Dietrichsdorf nach Wik</li> <li>• neue Bushaltestelle am Waldwiesenkreisel</li> </ul>
<b>Maas-Szenario 5%</b>	5 Prozent Anteil am Personenverkehr für MaaS
<b>Maas-Szenario 20%</b>	20 Prozent Anteil am Personenverkehr für MaaS
<b>Maas-Szenario 30%</b>	30 Prozent Anteil am Personenverkehr für MaaS

Abbildung 3: Planfälle für die makroskopischen Untersuchungen

Diese ausgewählten Planfälle bilden die Grundlage für die weiteren Untersuchungen. Ergebnisse und Analysen in den folgenden Abschnitten des Berichts beziehen sich auf diese Planfälle.

### **Zusätzliche Varianten der Stadt Kiel vom 19.10.2018**

Um die Wirkungen von kurzfristig umzusetzenden Maßnahmen zu bestimmen wurden am 19.10.2018 von der Stadt Kiel noch zwei weitere Varianten von bereits oben beschriebenen Szenarien ins Spiel gebracht, für die eine Einschätzung und wenn möglich Berechnung durch den Gutachter erfolgen soll:

1. Das von städtischer Seite ins Spiel gebrachte einseitige Fahrverbot für Dieselfahrzeuge mit Emissionsklasse schlechter als Euro-6 auf der rechten Fahrspur:
  - a. Welche Verkehrsbelastungen und Fahrzeugzusammensetzungen sind für Emissionsberechnungen anzunehmen?
  - b. Wie kann das verkehrstechnisch auf dem THR (nicht nur am Messcontainer) geregelt werden?
2. Fahrgemeinschafts-/ E-Fahrzeugfahrstreifen auf dem rechten Fahrstreifen (Busspur-Szenario mit Öffnung der Busspur auch für Elektrofahrzeuge und Fahrgemeinschaften):
  - a. Welche Verkehrsbelastungen und Fahrzeugzusammensetzungen sind für Emissionsberechnungen anzunehmen?
  - b. Wie kann das verkehrstechnisch auf dem THR (nicht nur am Messcontainer) geregelt werden?

**Variante 1** entspricht einer Abwandlung des Fahrverbots für Dieselfahrzeuge mit Emissionsklasse schlechter als Euro-6. In dieser Variante wird die Durchfahrt von Dieselfahrzeuge nicht gänzlich untersagt. Dieselfahrzeuge dürfen allerdings nicht mehr alle Fahrstreifen benutzen, sondern müssen auf die linken Fahrstreifen wechseln. Die Kapazität des Gesamtquerschnitts ändert sich dadurch nicht, es entstehen allerdings einige Beeinträchtigungen durch den Fahrstreifenwechsel nach links und dann zurück nach rechts am Ende des Abschnitts, u.a. auch für Lkw. Da sowohl die Kapazität insgesamt weitgehend unverändert bleibt, als auch die Kapazität der 2 linken Fahrstreifen für die Diesel-Fahrzeuge ausreichend ist, wird sich durch diese Variante keine räumliche Verlagerung der Nachfrage einstellen. Entsprechend muss auch keine neue Umlegungsrechnung durchgeführt werden.

**Variante 2** ist eine Abwandlung von Planfall 05, mit Kapazitätseinschränkungen auf dem THR für den fließenden Kfz-Verkehr beidseitig (symmetrisch) von 3 auf 2 Fahrstreifen im Abschnitt zwischen Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel und Nutzung des freiwerdenden rechten Fahrstreifens als Busspur. In dieser Variante wird die Busspur aber auch für Elektro-Fahrzeuge und Pkw geöffnet, die Fahrgemeinschaften gebildet haben. Dadurch kann ein Teil der Pkw-Nachfrage auf diesem Bus-Fahrstreifen abgewickelt werden. Entsprechend wird in diesem Fall die Kapazität durch



Wegnahme eines Fahrstreifens für den fließenden Kfz-Verkehr weniger stark reduziert, da ein Teil der Pkw den Busfahrstreifen mitnutzen kann.

## 2.3 Aufbau des makroskopischen Verkehrs- und Umweltmodells

Die Wirkung der ausgewählten Maßnahmen ist mit einem makroskopischen Verkehrs- und Luftausbreitungsmodell quantifizierbar. Das makroskopische Verkehrsmodell der Stadt Kiel [3] ist auf Basis der Software PTV Visum, das Luftausbreitungsmodell durch unseren Partner TNO erstellt. Durch Kopplung der beiden Modelle entsteht ein integriertes Werkzeug zur automatisierten Berechnung von verkehrlichen Maßnahmenwirkungen.

### Verkehrsmodell

Das von der Stadt Kiel übernommene makroskopische Verkehrsmodell [3] ist gemäß Stand der Technik kalibriert und validiert. Die Arbeitsschritte für die weiteren Berechnungen sind in der folgenden Liste zusammengefasst:

- Vorbereitung der Planfallmodellierung
- Vorbereitung der MaaS-Modellierung
- Vorbereitung der Emissionsberechnung mit HBEFA [4]
- Ergänzung des Modells um fehlende Komponenten (bspw. Emissionsmodell, Fahrzeugflotten, HBEFA-Streckentypen)
- Plausibilisierung und Rückkopplung

### Luftausbreitungsmodell

Um die Belastung der Luft mit Schadstoffen berechnen zu können, wird für die Stadt Kiel ein 3-Schichten-Modell erstellt. Die erste Schicht berechnet die Belastung durch den regionalen Hintergrund, die zweite Schicht den Beitrag durch den städtischen Hintergrund und die dritte Schicht den Beitrag durch die Fahrzeugemissionen.

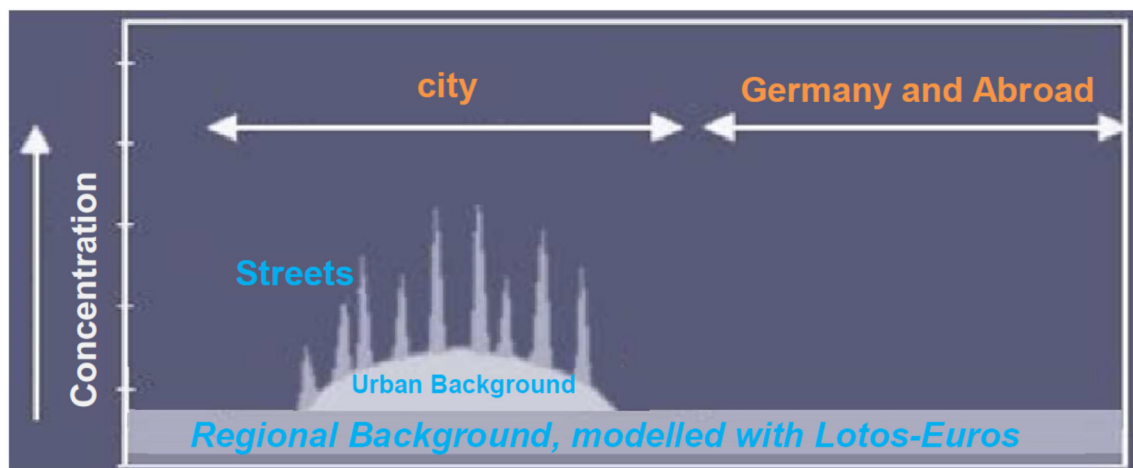


Abbildung 4: Vereinfachte Darstellung der räuml. Belastungsbeiträge in einer Stadt

Die Emissionen von beispielsweise NO<sub>2</sub> oder Elementary Carbon (EC) an Straßen werden von dort passierenden Fahrzeugen und anderen Emissionsquellen verursacht. Bei der Modellierung bzw. Berechnung der Immissionen werden die Beiträge aller Emittenten kumuliert. Das sind die passierenden Fahrzeuge selbst, die Fahrzeuge in anderen Straßen sowie weitere Quellen wie Schiffe, Hausbrand oder Industrie. Die Rechengenauigkeit bzgl. der Immission nimmt dabei mit der Entfernung von der Emissionsquelle ab.

Die städtischen Immissionsbelastungen werden mit den standardisierten Berechnungsmethoden SRM1 und SRM2 im 10x10-Meter-Raster ermittelt:

- ▶ SRM1 berechnet die örtliche Belastung durch Emissionen aus dem Straßenverkehr. Die Inputdaten hierfür sind:
  - ▶ Verkehrsstärke, Fahrzeugzusammensetzung, Geschwindigkeitsklassen, Verkehrszustand
  - ▶ Ausbreitung mittels Konfiguration verschiedener Klassen von Straßenschlucht-Modellen
- ▶ SRM2 ist ähnlicher Modellansatz für Außerortsstraßen und Autobahnen (mehr Geschwindigkeitsklassen).

Die regionale Belastung ist auf Basis des TNO-European-scale- Lotos-Euros-Modell (Sauter et al., 2012) abgeleitet. Das Lotos Modell basiert auf Emissionsdaten für ganz Europa. Es enthält alle bekannten Emissionsquellen. Meteorologische Daten werden entweder aus dem ECMWF Model (Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage) oder dem COSMO Modell des Deutschen Wetterdienstes.

Die Berechnung der städtischen Hintergrundbelastung erfolgt durch Anwendung des Gaussian Plume Modells, das Teil von Urban Strategy ist. Die lokale Belastung wird mit Hilfe des CAR Modells, ebenfalls Teilmodul von Urban Strategy, berechnet. Das CAR Modell verwendet dabei die Emissionsfaktoren aus HBEFA [4] und die Fahrzeugzusammensetzung auf dem deutschen Straßennetz. Sowohl die Emissionsfaktoren als auch die Fahrzeugzusammensetzung können auf Basis von Annahmen zur weiteren Entwicklung der Antriebstechnik für Szenarienberechnungen angepasst werden. Die Genauigkeit der berechneten Schadstoffbelastungen wird durch den Vergleich mit den in der Stadt Kiel gemessenen Werten bewertet.

Die Hintergrundbelastung entsteht durch die Überlagerung von Emissionen von Industrie, Landwirtschaft, weiter entfernten Verkehrszügen, Schiffsverkehr und den überregionalen Transport von Luftschadstoffen infolge meteorologischer Einflüsse. Die Modellierung der Hintergrundbelastung erfolgt in einem komplexen Ansatz und unter Verwendung unterschiedlicher Datenquellen. Berechnet werden die Belastungen in einem Raster von 3x3 km. Grundlage ist das Lotos-Euros-Modell [5] sowie der Daten-Bestand GRETA [6] des Umweltbundesamtes - UBA. Für die Prognosen der Hintergrundbelastung für die Folgejahre wurde das APS-Referenz-Szenario aus der Veröffentlichung des Umweltbundesamtes „Luft 2020-2030“ verwendet. Da das UBA nicht die Belastungen für die Jahre 2017, 2019 und 2021 ausweist, wurden

diese Werte durch lineare Interpolation zwischen den Jahren mit angegebenen Immissionen 2015, 2020 und 2025 ermittelt.

Die Berechnung erfolgt in demselben 3x3 km-Raster wie im UBA-GRETA-Verfahren. Belastungen aus Emissionsquellen wie Verkehr werden im TNO-Modell Urban Strategy zu den Hintergrundbelastungen hinzuaddiert. Da Verkehr aber bereits eine Komponente im Modell der Hintergrundbelastungen ist, wurde ein Korrekturfaktor angewendet, um die doppelte Berücksichtigung der örtlichen Verkehrsemissionen zu vermeiden.

Meteorologische Daten, die im Lotos-Euros-Modell als Eingangsdaten benötigt werden, wurden aus dem ECMWF-Archiv [7] entnommen. Für alle Zeithorizonte wurden die meteorologischen Bedingungen desselben Jahres 2015 verwendet, damit die Unterschiede zwischen den betrachteten Jahren ausschließlich aus den unterschiedlich angenommenen Emissionen resultieren und nicht durch eine Verknüpfung der Emissionen mit unterschiedlichen meteorologischen Rahmenbedingungen. Dies erhöht die Transparenz und Interpretierbarkeit der Modellergebnisse.

LOTOS-EUROS errechnet die Immissionen im 3x3 km-Raster. Diese Werte können als Hintergrundbelastung angesehen werden. Allerdings weichen die ermittelten Werte z.T. von den gemessenen Immissionen in einzelnen Städten ab. Um dennoch korrekte Hintergrundbelastungen in der jeweiligen Stadt zu erhalten, wird das folgende Verfahren angewendet: Die gemessenen Immissionen an dem Messort für Hintergrundbelastung (in Kiel: hinter der Klaus-Groth-Gemeinschaftsschule an der Max-Planck-Straße) werden verglichen mit dem errechneten LOTOS-EUROS-Wert der entsprechenden Zelle. Aus dem Unterschiede wird ein Skalierungsfaktor für die betreffende Stadt abgeleitet. Dieser Skalierungsfaktor wird sodann auf die errechnete Hintergrundbelastung im gesamten Stadtgebiet angewandt.

In der Tat sinken mit diesem Verfahren zur Berechnung der Hintergrundbelastungen die Belastungen von 2017 nach 2019 und noch weiter nach 2021. Die folgende Tabelle 2 zeigt für die drei Messpunkte in Kiel die im Modell hinterlegte Hintergrundbelastung für die Jahre 2017, 2019 und 2021.

Ort	Hintergrund 2017		Hintergrund 2019		Hintergrund 2021	
	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )
Kiel Bahnhof-Straße	18,9	20,0	18,1	19,7	17,4	19,5
Kiel Max-Planck-Straße (Hintergrund)	17,6	19,7	16,9	19,5	16,3	19,3
Kiel Theodor-Heuss-Ring	18,9	20,0	18,1	19,7	17,4	19,5

Tabelle 2: Hintergrundbelastung Kiel

Folgende meteorologische Daten gehen in die Berechnung des lokalen Anteils ein: Windrichtung und Windgeschwindigkeit (in 10 m Höhe). Diese werden vom ECMWF-Zellenraster übernommen.

Über einer Stadtlandschaft verändert sich die Windgeschwindigkeit durch Hindernisse, Gebäude etc. und die durchschnittliche vertikale Vermischung der Schadstoffe erhöht sich. Daher werden die Windgeschwindigkeiten und die Profile über Kiel neu berechnet. Dies wurde durchgeführt, indem die Wirkung von örtlichen Unebenheiten berücksichtigt wurde.

Die Art und Weise, in der die Bebauungsstruktur die Windgeschwindigkeit beeinflusst, wird berücksichtigt, indem die gemittelte Windgeschwindigkeit der Gitterzelle um die lokale Länge der Unebenheiten korrigiert wird (siehe oben). Für Autobahnen und offene Straßen in Städten verwenden wir unser Ausbreitungsmodell. Bei diesem Modell wird die zeitliche Verteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit berücksichtigt. Für städtische Straßen, in denen wir unser CAR-Straßenmodell verwenden, wird die lokale Infrastruktur (Hindernisse, Häuser und andere Gebäude) verwendet, um die örtlichen Ausbreitungsmerkmale zu bestimmen. Dies geschieht je nach Straßentyp (Straßenschlucht oder Straße mit Gebäuden auf einer Seite usw.).

Für die Ermittlung der Emissionen wurden die Fahrzeugmengen und Aufteilungen auf die Fahrzeugtypen aus dem VISUM-Modell übernommen. Neben den Gesamtfahrzeuganzahlen enthält dies den Schwerverkehrsanteil, siehe Tabelle 7 und Tabelle 8. Außerdem ist auch eine Aufteilung nach leichten und schweren Nutzfahrzeugen in den Modelldaten enthalten. Die Modelldaten des DTV<sub>w</sub> wurden umgerechnet in den DTV. Dazu wurden aus Daten der Dauerzählstelle am Theodor-Heuss-Ring die folgenden Umrechnungsfaktoren abgeleitet: 0,95 für Pkw, 0,84 für Güterverkehr und 0,82 für Busse. Alle in HBEFA genutzten Parameter (Straßentyp, Geschwindigkeit, Steigung und Verkehrsmodus) wurden verwendet außer Steigung. Der Parameter Steigung konnte nicht verwendet werden, weder für den gesamten Querschnitt, noch für einzelne Fahrstreifen, da diese Werte im Verkehrsmodell nicht enthalten sind.

An einigen Messpunkten bestand eine große Lücke zwischen dem berechneten Modellwert und dem gemessenen Wert. Zur Validierung dieser Punkte wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wurden die Eingaben für das Luftmodul detaillierter analysiert, z.B. Breite / Höhe des Gebäudes, Anwesenheit von Bäumen. Diese Faktoren können den Luftstrom und damit die Konzentration beeinflussen. Eine Reihe von Parametern kann nur in Klassen eingeordnet werden. In einigen Fällen ist ein Parameter sehr nahe an der Grenze, die eine andere Klasse rechtfertigen würde. Ein Beispiel dafür ist der Staufaktor. Hier wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Ergebnisse anzuzeigen, wenn für die Berechnungen die Werte der nächsten Klasse verwendet werden. Solche Sensitivitätsberechnungen wurden auch durchgeführt, wenn die angegebenen Werte für die Verkehrsbelastungen in Bezug auf die gemessenen Konzentrationswerte unrealistisch hoch oder niedrig erschienen.

Bei der Ermittlung der Immissionen werden ebenfalls Asymmetrien mit berücksichtigt. Im Außerortsmodell wird die Ausbreitung für jeden Immissionsort unabhängig berechnet, unter Berücksichtigung der örtlichen Windrosen, im CAR-Modell wird die

Windrichtung nicht verwendet. Die Werte werden für den jeden individuellen Immissionsort getrennt berechnet, über das gesamte Stadtgebiet mit einem engmaschigen Raster

Zur Umrechnung der Angaben  $\text{NO}_x$  in  $\text{NO}_2$  werden die Standardformeln zur Umrechnung aus den Niederlanden benutzt, deren Gültigkeit durch Vergleich mit den Ergebnissen der deutschen Messdaten verifiziert wurde. Außerdem werden Tagesganglinien in den Berechnungen berücksichtigt, wobei unterschiedliche Fahrstreifenaufteilungen über den Tag aber nicht berücksichtigt werden.

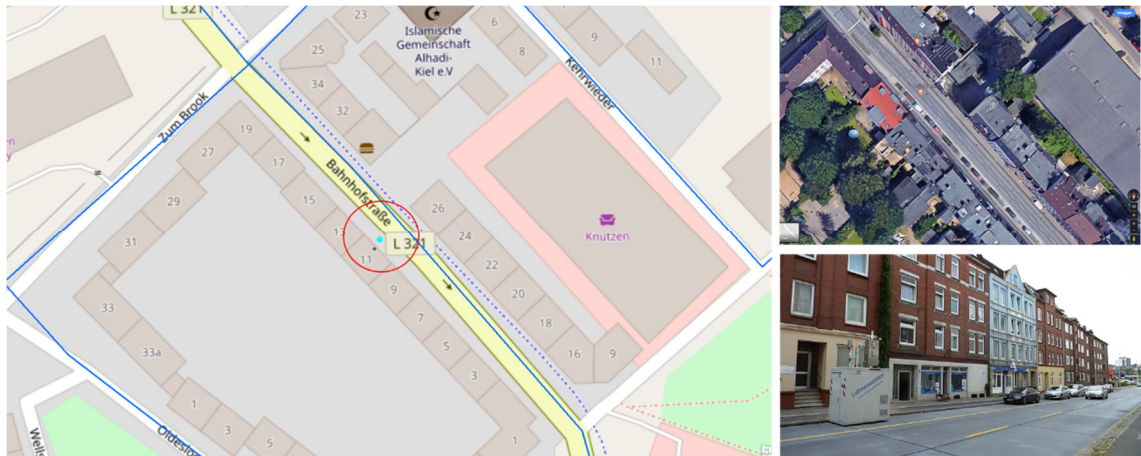
Der lokale Beitrag zu den Immissionen wird bezogen auf die Hintergrundbelastungen gemittelt und dann abgezogen. Auf diese Weise wird der Beitrag des Verkehrs nicht doppelt gezählt

Der Skalierungsfaktor wird ermittelt durch das Verhältnis der gemessenen Hintergrundwerte und der modellierten Werte. Für  $\text{NO}_2$  ist der Skalierungsfaktor für Kiel 1,5 und für  $\text{O}_3$  ist er 0,7. Damit wird das modellierte  $\text{NO}_2$  um 50% erhöht, und  $\text{O}_3$  um 30% gesenkt. Diese Skalierung gilt explizit nur für die Hintergrundbelastung.

Der Hintergrund- $\text{NO}_x$  wird im Modell nicht berücksichtigt. Die  $\text{NO}_2$ -Hintergrundbelastungen werden zu den lokalen  $\text{NO}_2$ -Emissionen addiert, was die Gesamt- $\text{NO}_2$ -belastung ergibt. Die lokalen  $\text{NO}_2$ -Emissionen werden durch die Niederländischen Standard-Formeln berechnet basierend auf  $\text{NO}$ , direkt emittierten  $\text{NO}_2$  und  $\text{O}_3$ .

Bei den Immissionsberechnungen für das Stadtgebiet Kiel wird ebenfalls die betroffene Bevölkerung ermittelt. Wenn Shape-Files der Gebäude-Umrisse und die Einwohnerzahl pro Gebäude vorhanden waren, dann wurden diese genutzt. Andernfalls wurden die Gebäudeumrisse aus OpenStreetMap (OSM) entnommen und mit Daten über die Einwohnerverteilung verschnitten. Im Ergebnis werden die Einwohner auf die Gebäude mit einer Grundfläche größer 4qm aufgeteilt. Die Immissionen werden flächig für das gesamte Gebiet berechnet und ergeben entsprechende Kontour-Linien im Modell Urban Strategy unter Verwendung von unterschiedlichen Berechnungspunkten (Straßen, Gebäuden, etc.). Mit den Berechnungen an diesen Punkten wird ein Zellenraster aufgebaut, für die die Immissionswerte ermittelt werden. Die Zellen mit  $\text{NO}_2$ -Immissionen größer als  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  werden ermittelt und die Anzahl der Einwohner in den Gebäuden in diesen Zellen werden errechnet.

Im Folgenden werden die Kieler Messstationen mit ihren Mess- und Modellwerten näher vorgestellt.



Blue point: Traffic Measure Station location (54.304242, 10.122364) according to geodata from UBA  
 Blue line: Link locations from VISUM

Abbildung 5: Messtation Bahnhofstraße

Die Position der verschiedenen Messpunkte im Stadtgebiet wurde aus einer bundesweiten Datenbank übernommen, die an einigen Punkten ungenau ist. Die Entfernung der Messstelle von der Mitte der Fahrbahn als Emissionsquelle wird zur Berechnung der Immission verwendet. Um die korrekte Position der Messstelle und damit die Entfernung dieser Messstelle vom Mittelpunkt der Fahrbahn zu ermitteln wurden verschiedene Verfahren und Tools eingesetzt. Für die meisten Messpunkte wurden dadurch sehr genaue Positionen ermittelt und dadurch stimmten auch gemessene und modellierte Werte für  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  gut überein,

Für eine komplette Übersicht wurden die Immissionen auch für andere Entfernungen zwischen Immissionsorten und der Emissionsquelle ermittelt, um den Einfluss der Entfernung darzustellen.

Kiel - Bahnhofstraße	$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Bemerkungen
Measurement 2016	42,4		Gemessener Jahresmittelwert der Immissionen 2016
Receptor distance to link in model			
PF00 2017, 8,3m	37,2	24,5	Ursprünglich aus der Datenbank übernommene Entfernung Messstelle zu Emissionsquelle
PF00 2017, 3,5m	42,6	25,9	Entfernung im Ergebnis der angewendeten Verfahren
PF00 2017, 7,0m	38,6	24,8	
PF00 2017, 10,0m	35,5	24	
PF00 2017, 15,0m	31,1	22,9	

Tabelle 3: Gemessene / berechnete NO<sub>2</sub>- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen Bahnhofstraße

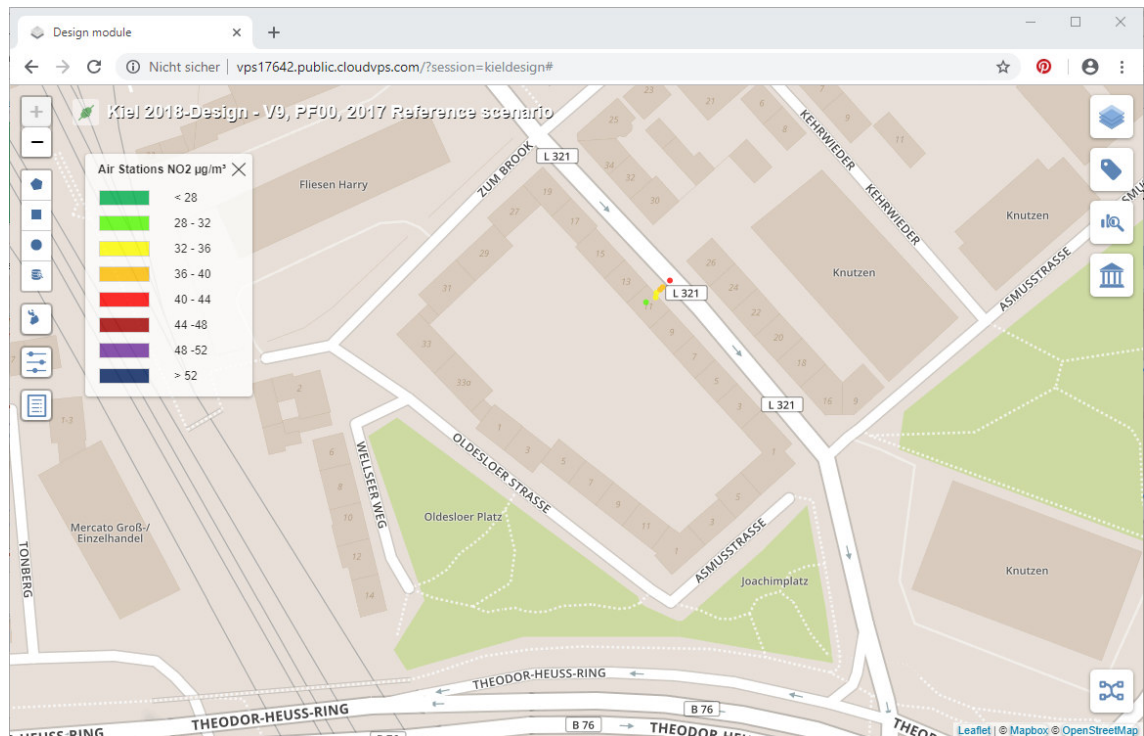
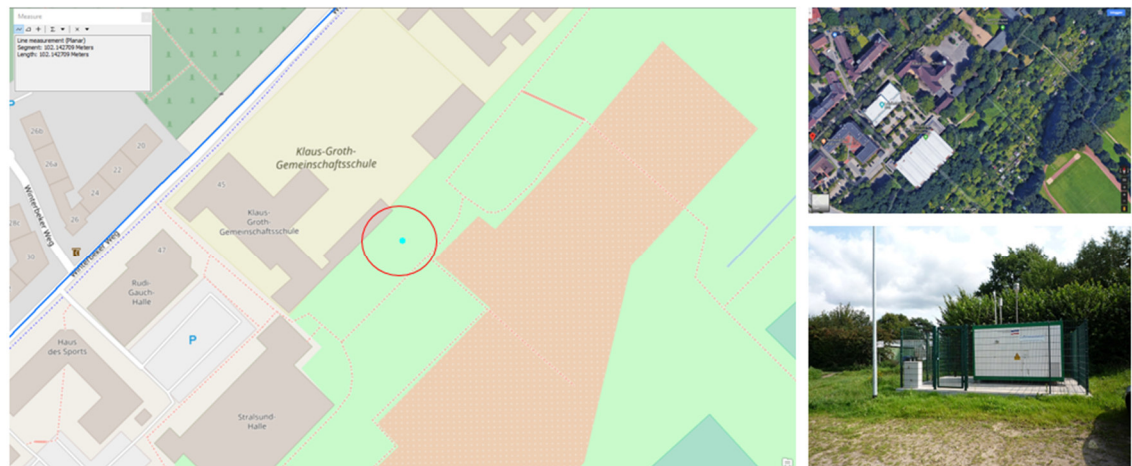


Abbildung 6: Zusätzliche Berechnungspunkte Bahnhofstraße



Blue point: Background Measure Station location (54.309674, 10.116563) according to geodata from UBA

Blue line: Link locations from VISUM

Blue point: Background Measure Station location (54.309674, 10.116563) according to geodata from UBA

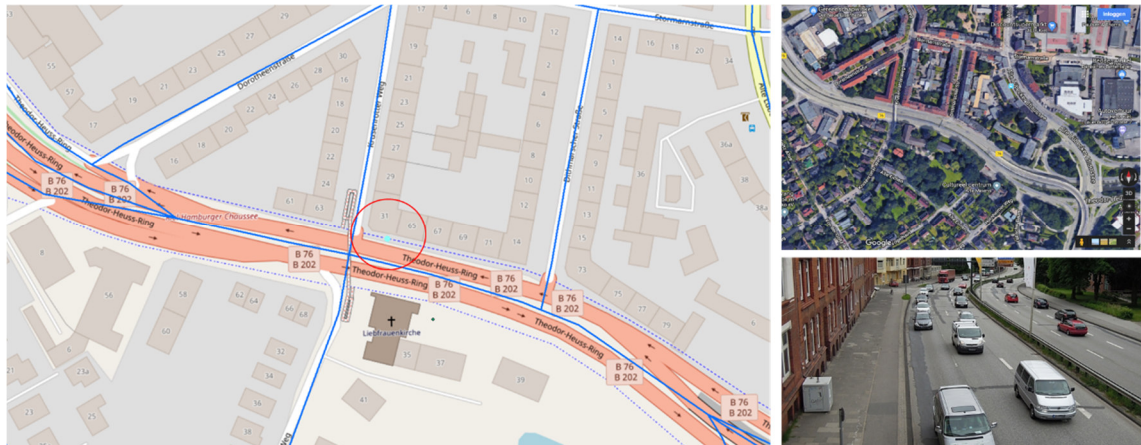
Blue line: Link locations from VISUM

Abbildung 7: Hintergrundmessstation Max-Planck-Straße

Für die Hintergrundmessstation Max-Planck-Straße ist das Einfügen zusätzlicher Berechnungspunkte im Modell nicht notwendig, da sie weit entfernt von Straßenquerschnitten liegt. Die berechneten NO<sub>2</sub>- und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen stimmen hinreichend genau mit den gemessenen Werten überein.

Kiel - Max-Planck-Straße	NO <sub>2</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM10 (ug/m <sup>3</sup> )	Remarks
Measurement 2016	17,6		Actual measure data from 2016
PF00 2017	18,1	19,7	Location measure point from acquired geodata

Tabelle 4: Gemessene / berechnete NO<sub>2</sub>- und PM10-Konzentrationen Max-Planck-Straße



Blue point: Traffic Measure Station location (52.359478, 9.7155) according to geodata from UBA  
 Blue line: Link locations from VISUM

Abbildung 8: Messtation Theodor-Heuss-Ring

Gemäß übergebener Geodaten ist die Messtation am Theodor-Heuss-Ring (Nord) ca. 12 Meter von der Straßenachse entfernt. Auf Grundlage der verschiedenen Prüfungen wurde die Entfernung auf ca. 14 Meter geschätzt. Auch hier wurde die Auswirkung der Entfernung Immissionsort Emissionsquelle berechnet und in der folgenden Tabelle dargestellt:

Kiel - THR (North)	NO <sub>2</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	PM10 (ug/m <sup>3</sup> )	Bemerkungen
Measurement 2017	65,2		Messdaten Jahresmittelwert 2017
Receptor distance to link in model			
PF00 2017, 12,0m	70,16	30,5	Position des Messpunktes aus den erhaltenen Geodaten
PF00 2017, 3,5m	100,9	38,1	
PF00 2017, 7,0m	86,8	34,5	
PF00 2017, 10,0m	75,9	31,8	
PF00 2017, 14,0m	64,4	29,1	Beste Schätzung der Entfernung zwischen Emissionsquelle und Messstelle
PF00 2017, 15,0m	60,2	28,2	

Tabelle 5: Gemessene / berechnete NO<sub>2</sub>- und PM10-Konzentrationen THR (Nord)



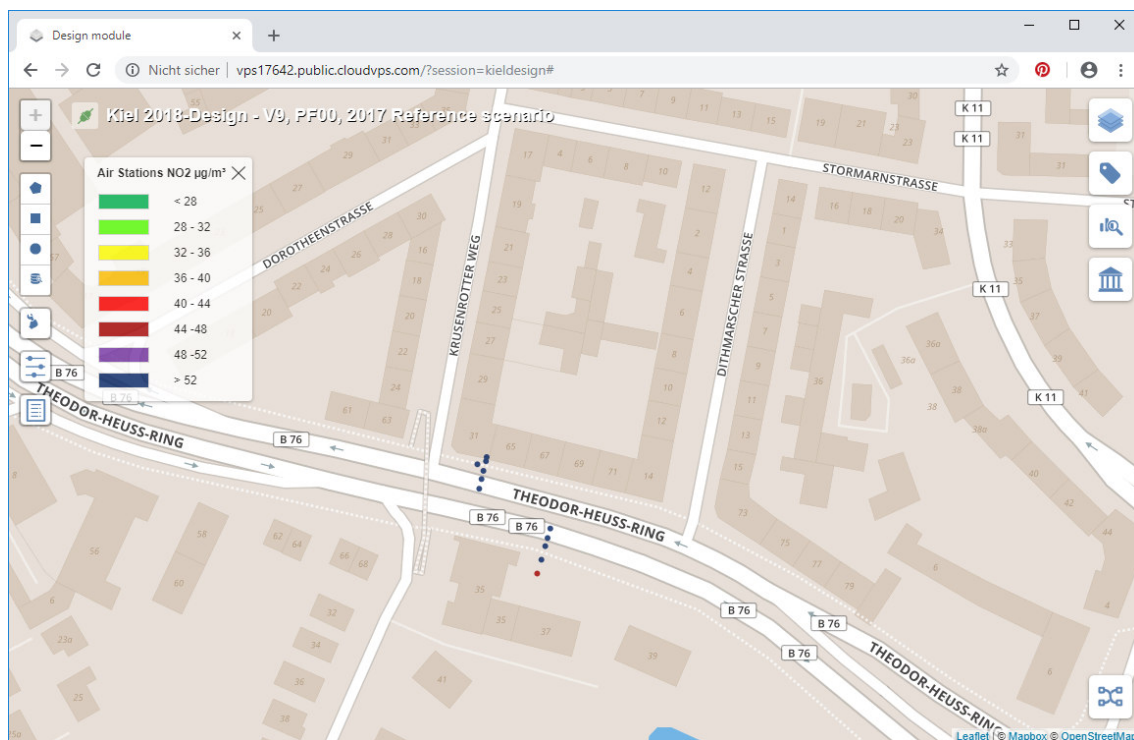


Abbildung 9: Zusätzliche Berechnungspunkte Theodor-Heuss-Ring

Als Beispiel für die Kalibrierung und Validierung des Luftausbreitungsmodells sollen an dieser Stelle für den Messpunkt THR die Ergebnisse der Sensitivitätstest der Parameter Staufaktor und Straßentyp aufgeführt werden. Der Streckenabschnitt besitzt eine sehr hohe Verkehrsbelastung, bei gleichzeitig hohen Stauanteilen. Die Intensitäts- / Kapazitätsprüfung zeigt, dass ein Staufaktor 4 in Ordnung aussieht, zwischen 3 und 4 wäre jedoch besser. Der Straßentyp ergibt in die Klasse 5 eingeordnet (einseitige Schlucht, einseitige Gebäude, begrenzt den Luftstrom) einen etwas höheren NO<sub>2</sub>-Wert als Straßentyp 4. Der Straßentyp sollte also zwischen 4 und 5 liegen. Der Straßentyp könnte jedoch auch 5 sein, wenn man die Flächendaten betrachtet.

Kiel - THR (North)	Value NO <sub>2</sub> (ug/m <sup>3</sup> )
Measurement 2016	65,2
Receptor distance to link in model	
PF00 2017, 14,0m, roadtype 5, congestion faktor 4	89,8
PF00 2017, 14,0m, roadtype 4, congestion faktor 3	64,4

Tabelle 6: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse THR (Nord)

### 3 Bewertung Wirkung der Maßnahmen

Die Wirkungen der Maßnahmen werden auf Basis der aktuellen Informationen zur Entwicklung der Fahrzeugemissionen und den benutzten Antrieben durchgeführt. Aufgrund des aktuellen Handlungsdrucks sind keine mittel- oder langfristigen Prognosesituationen zu untersuchen, sondern kurzfristige Planungshorizonte (2017, 2019, 2021) abzubilden. Hierfür sind keine strukturdatenbasierten Prognoseberechnungen erforderlich, sondern es wird die Ausgangssituation zugrunde gelegt.

#### 3.1 Stadtweite Modellierung mit makroskopischen Wirkungsberechnungen

##### 3.1.1 Modellgrundlagen

###### Verkehrsmodell

Als Grundlage für die makroskopische Wirkungsermittlung dient das kalibrierte Verkehrsmodell der Stadt Kiel [3] mit dem darin enthaltenen Szenario 140 als Bezugsfall. In diesem Bezugsfall werden die für den Planungshorizont 2017 als Grundlage zu nehmenden Entwicklungen berücksichtigt. Im Bezugsfall liegt die Verkehrsbelastung am Theodor-Heuss-Ring im Querschnitt bei 100.700 Kfz/24h. Damit wird der Zählwert aus dem Jahr 2013, der an dieser Stelle als Referenz in der Modellkalibrierung dient, mit 5% Abweichung getroffen. Das Szenario 140 ist für die weiteren verkehrsplanerischen Berechnungen als Modellgrundlage geeignet.

###### Untersuchte Planfälle

Generell ist bei den Maßnahmen, wie in Kapitel 2 beschrieben, zwischen den fahrzeugtechnischen Ansätzen, verkehrsplanerischen Maßnahmen, Verkehrsmanagementmaßnahmen und Mobilitätsdienstleistungen (MaaS) zu unterscheiden. Der Schwerpunkt der Betrachtung im makroskopischen Verkehrsmodell bildet die Abbildung der fahrzeugtechnischen und planerischen Maßnahmen, sowie Teile der Maßnahmen des Verkehrsmanagements, soweit sie nicht Bestandteil der mikroskopischen Simulation (vgl. Kapitel 3.2) sind. In der Anlage 1.2 ist eine Übersicht zu allen im Rahmen der makroskopischen Berechnungen untersuchten Planfällen zusammengestellt.

###### Flottenzusammensetzung

Als Grundlage für die Ableitung der Fahrzeugflottenzusammensetzung dienen zum einen die Angaben aus der Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA [8]) und die Angaben aus dem Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA [4]). Ein Vergleich der Statistiken weist auf Unterschiede in den Anteilen der Diesel-Pkw am Pkw-Bestand insgesamt hin (siehe Abbildung 10). Die Unterschiede zwischen beiden Statistiken liegen darin begründet, dass die KBA-Statistik auf Bestandsanga-

ben aus den Melderegistern referenziert, während in der HBEFA-Flottenzusammensetzung neben den Bestandszahlen (mit Zu- und Abgängen je Jahr) auch spezifische Fahrleistungen je Fahrzeugsegment, die altersabhängige Fahrleistungsentwicklung und eine Aufteilung nach Straßenkategorien mitberücksichtigt sind.

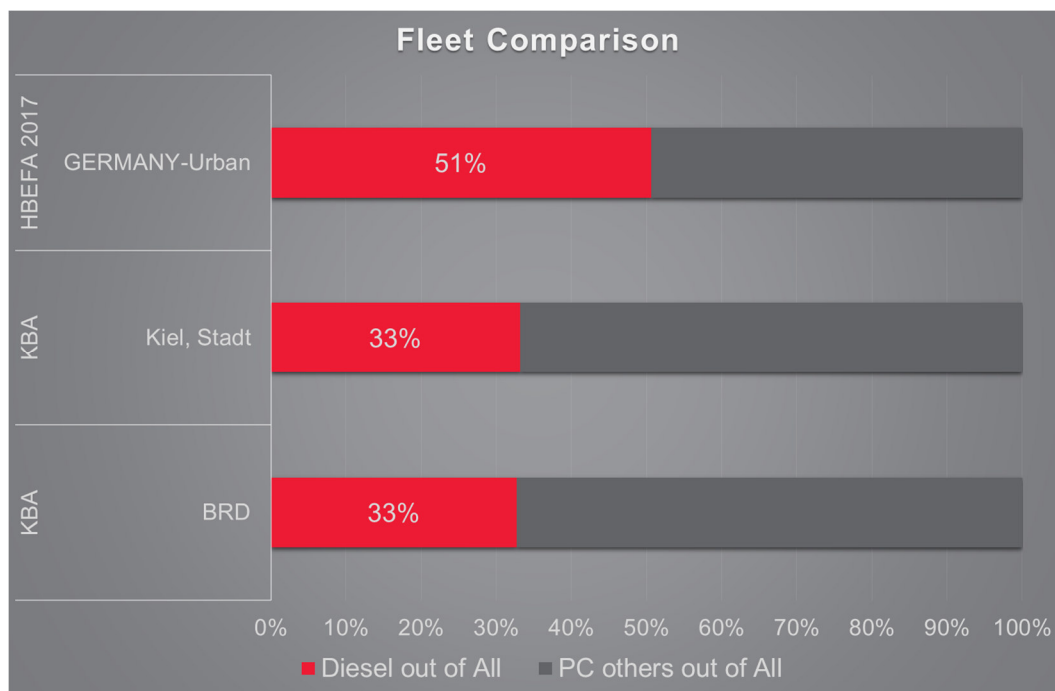


Abbildung 10: Flottenvergleich 2017

Mit HBEFA ist außerdem die künftige Flottenzusammensetzung in den Jahren 2019 und 2021 prognostizierbar. Sodass für die Ermittlung der Umweltwirkungen der untersuchten Maßnahmen die Flottenzusammensetzungen aus HBEFA 3.3 zu Grunde gelegt werden. In der folgenden Abbildung 11 sind die natürlichen Entwicklungen der Diesel-Pkw-Flotte in Bezug auf die Veränderungen der Anteile an den Normen Euro 6, 5 und 1 bis 4 für die Jahre 2017 bis 2021 zusammengestellt. Damit ist anzunehmen, dass zum Jahr 2021 fast zwei Drittel aller Diesel-Pkw der Norm Euro 6 entsprechen werden.

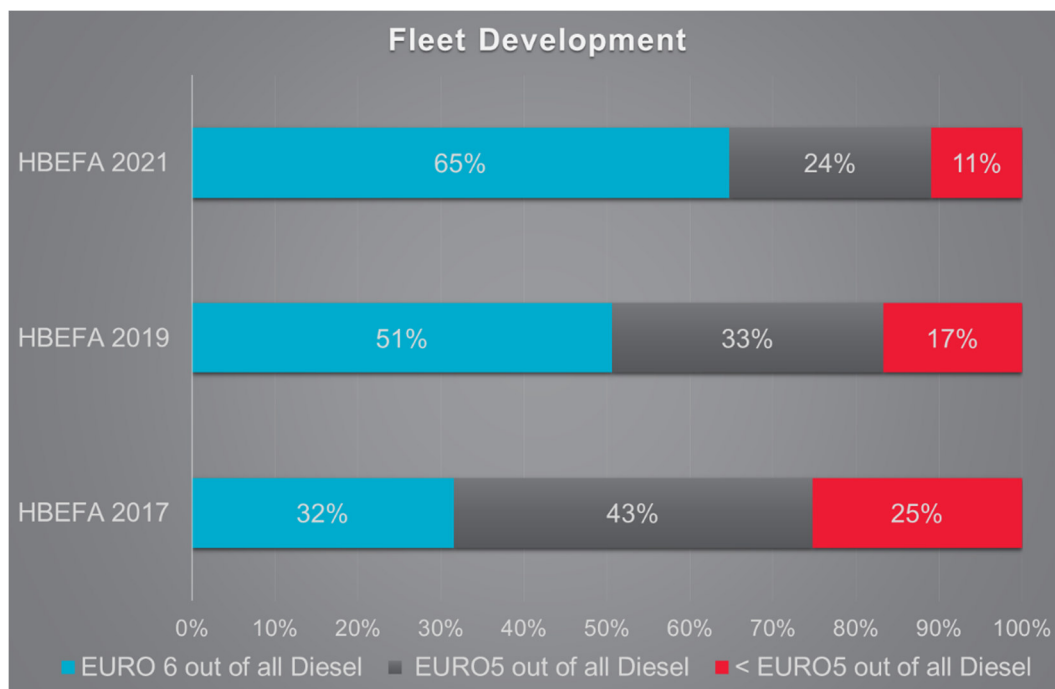


Abbildung 11: Natürliche Flottenentwicklung Diesel-Pkw

Zum anderen wurden für die Abschätzung der Maßnahmen des Dieselpfahls folgende Annahmen getroffen:

- Update von Diesel-Fahrzeugen mit Emissionsklasse Euro5-5 von deutschen Herstellern:
  - Gesamtzahl 5,3 Mio. Fahrzeuge
  - Pflicht-Update bei 2,4 Mio. Volkswagen-Diesel; Annahme: bis 2019 haben 100% das Update durchgeführt
  - Freiwilliges Update bei den übrigen 2,9 Mio. Diesel-Pkw; Annahme: bis 2019 haben dies 80% durchgeführt
  - Durchschnittliche Minderungswirkung beim NO<sub>x</sub>-Ausstoß durch Update: 27,5%
- Umstiegsprämien
  - Annahme: 10% der Diesel mit Emissionsklasse Euro 1 bis Euro 4 werden durch Fahrzeuge mit neuestem Emissionskonzept ersetzt, davon 40% Benzin, 60% Diesel

Bei erfolgreicher Umsetzung dieser Maßnahmen werden zum Jahr 2019 fast drei Viertel und im Jahr 2021 etwa vier Fünftel aller Diesel-Pkw der Norm Euro 6 entsprechen.

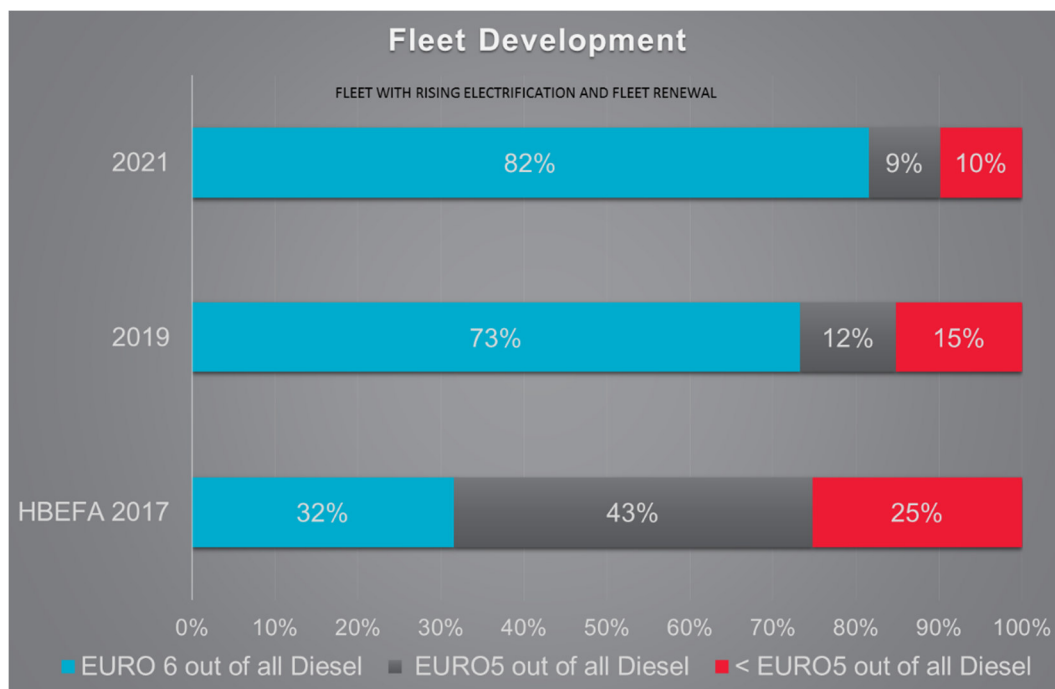


Abbildung 12: Flottenentwicklung Diesel-Pkw mit Maßnahmen des Dieselpipfels

### 3.1.2 Wirkungsauswertung und Wirkungsdarstellung

#### 3.1.2.1 Verkehrliche Wirkungen

Die Ergebnisse der verkehrsplanerischen Berechnungen und die Darstellung der verkehrlichen Wirkungen im Straßennetz und auf den Modal Split sind in den Anlagen 1.3 ff in Form von Verkehrsmengenkarten und Differenzplänen enthalten. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Berechnungen für den Querschnitt am Theodor-Heuss-Ring (THR) im Abschnitt zwischen Krusenrotter Weg und Dithmarscher Straße zusammengestellt.

Querschnittsbelastung	DTVw [Kfz/24h]	Differenz zum Bezugsfall [Kfz/24h]
Planfall 00	100.700	
Planfall 01	92.000	-8.700
Planfall 02	92.100	-8.600
Planfall 03	80.300	-20.400
Planfall 04	77.600	-23.100

Querschnittsbelastung	DTVw [Kfz/24h]	Differenz zum Bezugsfall [Kfz/24h]
Planfall 05-2	55.200	-45.500
Planfall 06	0	-100.700
Planfall 07	97.300	-3.400
Planfall 08	100.600	-100
Planfall 09	100.800	+100
Planfall 10	100.800	+100
MaaS 5%	100.800	+100
MaaS 20%	104.300	+3.600
MaaS 30%	106.100	+5.400

Tabelle 7: Verkehrliche Wirkung der untersuchten Maßnahmen am THR

Die folgende Tabelle weist für den untersuchten Abschnitt des Theodor-Heuss-Rings richtungsdifferenziert die Anteile des Schwerverkehrs und der Dieselfahrzeuge, welche nicht der Norm Euro 6 entsprechen, für die jeweiligen Planfälle aus.

Planfall	THR in Fahrrichtung	DTVw [Kfz/24h]	Anteil Schwerverkehr an Gesamt	Anteil Pkw D Euro 1-5 an Gesamt	Anteil Lkw D Euro 1 - 5 an Gesamt
Planfall 00	Ost	50.500	8%	32%	4%
	West	50.200	7%	32%	4%
Planfall 01	Ost	50.500	8%	32%	4%
	West	41.600	10%	0%	5%
Planfall 02	Ost	50.500	8%	32%	4%
	West	41.600	6%	0%	0%
Planfall 03	Ost	39.900	11%	0%	5%
	West	40.400	11%	0%	5%
Planfall 04	Ost	38.400	6%	0%	0%
	West	39.100	6%	0%	0%
Planfall 05-2	Ost	28.100	10%	31%	5%
	West	27.000	9%	31%	4%
Planfall 06	Ost	0	-	-	-
	West	0	-	-	-
Planfall 07	Ost	49.100	7%	32%	4%
	West	48.200	7%	32%	4%
Planfall 08	Ost	50.300	8%	32%	4%
	West	50.300	7%	32%	3%

Planfall	THR in Fahrrichtung	DTVw [Kfz/24h]	Anteil Schwerverkehr an Gesamt	Anteil Pkw D Euro 1-5 an Gesamt	Anteil Lkw D Euro 1 - 5 an Gesamt
Planfall 09	Ost	50.500	8%	32%	4%
	West	50.300	7%	32%	3%
Planfall 10	Ost	50.500	8%	32%	4%
	West	50.300	7%	32%	3%
MaaS 5%	Ost	50.500	8%	32%	4%
	West	50.300	7%	32%	3%
MaaS 20%	Ost	53.000	7%	29%	3%
	West	51.400	7%	29%	3%
MaaS 30%	Ost	54.100	6%	28%	3%
	West	52.000	7%	28%	3%

Tabelle 8: Theodor-Heuss-Ring - Verkehrsanteile richtungsdifferenziert

### Planfall 00 - Der Bezugsfall

Der Planfall 00 dient dabei als Bezugsfall für die Ermittlung der Differenz der Verkehrsbelastungen und zur Bewertung der voraussichtlich eintretenden Wirkungen bei einer möglichen Realisierung der in den jeweiligen Planfällen betrachteten Maßnahmen. Im Bezugsfall liegt die Verkehrsbelastung am THR bei 100.700 Kfz/24h. Der Anteil des Schwerverkehrs liegt bei ca. 8 Prozent. 32 Prozent aller Fahrzeuge, die täglich den THR in beiden Richtungen passieren sind Diesel-Pkw die der Norm Euro 1 bis 5 entsprechen. Weitere 4 Prozent aller Fahrzeuge sind Diesel-Lkw der Norm Euro 1 bis 5.

### Planfälle 01, 02, 03, 04 und 06 - Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring

Die höchste Entlastungswirkung erzielt der Planfall 06, in dem von einer Vollspernung des THR im betreffenden Abschnitt ausgegangen wird. Dadurch ergibt sich eine sehr große räumliche Verlagerung des Kfz-Verkehrs. Zum einen auf Hauptverkehrsstraßen im Stadtgebiet von Kiel wie die Hamburger Chaussee, Alte Lübecker Chaussee, Bahnhofstraße, Kaistraße aber auch in das unmittelbar am THR liegende Nebenstraßennetz. Es ist zu erwarten, dass die Verkehrsqualität auf den von Mehrbelastungen betroffenen Straßenabschnitten sehr stark absinken wird, sodass dieser Planfall auf keinen Fall als Lösung empfohlen werden kann.

Verkehrsentlastungen am THR bewirken ebenfalls die Planfälle 01 bis 04, in denen die halb- bzw. beidseitige Sperrung des THR für Dieselfahrzeuge <Euro 6 untersucht wird. Signifikant ist hier der Rückgang in den Anteilen, die auf die Fahrverbote für einzelne Fahrzeuggruppen zurückzuführen sind. Als Umleitungsstrecke für die vom Fahrverbot betroffenen Dieselfahrzeuge wird der Streckenzug Hamburger Chaussee - Alte Lübecker Chaussee ausgewiesen, auf dem mit entsprechenden Verkehrszunahmen zu erwarten sind.

Die halbseitige Sperrung für Diesel-Pkw <Euro 6 im Planfall 01 bewirkt in Fahrtrichtung West ein Absinken der Verkehrsmenge insgesamt um 8.600 Kfz/24h. Das bedeutet, dass von den ca. 16.000 Diesel-Pkw <Euro 6, die im Bezugsfall den THR im betroffenen Abschnitt befahren und damit das Gesamtpotenzial der Verkehrsmengenreduzierung ausmachen würden, knapp die Hälfte der freiwerdenden Kapazitäten durch andere Fahrzeuge wieder aufgefüllt werden. Diese Fahrzeuge sind jedoch nicht nur Pkw sondern auch Lkw, was ein Ansteigen des Schwerverkehrsanteils insgesamt und des Anteils an Diesel-Lkw <Euro 6 bewirkt.

Im Planfall 02 ist der THR halbseitig in Fahrtrichtung West für alle Diesel-Fahrzeuge <Euro 6 gesperrt. Es tritt insgesamt eine Verkehrsmengenreduzierung um 8.600 Kfz/24h ein. Auch hier werden freiwerdende Kapazitäten durch andere Fahrzeuge aufgefüllt. Jedoch nicht durch Lkw-Verkehr, wodurch der Schwerverkehrsanteil hier auf 6 Prozent sinkt.

Die beidseitige Sperrung des THR für Diesel-Pkw <Euro 6 im Planfall 03 bewirkt eine Verkehrsentslastung um 20.400 Kfz/24h gegenüber dem Bezugsfall. Die durch den Wegfall der problematischen Fahrzeuge freiwerdenden Kapazitäten auf dem THR und den Verkehrsdruck auf den Ausweichrouten bewirken eine Neubewertung der Routenwahl im Modell für alle Fahrzeuge, die nicht von dem selektiven Fahrverbot auf dem THR betroffen sind. Die Route über den THR gewinnt an Attraktivität, sodass bis zum Erreichen der Kapazitätsgrenze die freiwerdenden Kapazitäten aufgefüllt werden, bis im Modell ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Im Ergebnis steigt der Schwerverkehrsanteil insgesamt und auch der Anteil der problematischen Gruppe der Diesel-Lkw <Euro 6.

Bei einer beidseitigen Sperrung des THR für alle Dieselfahrzeuge <Euro 6 im Planfall 04 wird ein Rückgang der Verkehrsbelastungen um 23.100 Kfz/24h gegenüber dem Bezugsfall prognostiziert. Die Reduktion betrifft in stärkerem Maße die Lkw, woraus ein Rückgang der Schwerverkehrsanteile resultiert. Aber auch in diesem Planfall tritt die Substitution problematischer Fahrzeuge durch andere Fahrzeuge ein, was letztlich ein Auffüllen freiwerdender Kapazitäten auf dem THR bewirkt.

### **Planfall 07 - Tempolimit 50 km/h auf dem THR und Sperrung der Zufahrten**

Ein Tempolimit von 50 km/h auf dem THR in beiden Fahrtrichtungen zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz sowie die Sperrung von Ein- und Ausfahrten in die Nebenstraßen des THR werden im Planfall 07 untersucht. Die Verkehrsbelastung im Querschnitt sinkt auf 97.300 Kfz/24h. Auf den Ausweichstrecken ist mit moderaten Verkehrszunahmen infolge räumlicher Verkehrsverlagerungen zu rechnen. Die Anteile der Dieselfahrzeuge <Euro 6 entsprechen im Planfall 07 denen des Bezugsfalls.

Die Planfälle 05, 08 bis 10 und die Maas-Planfälle untersuchen die Wirkungen von modalen Verlagerungen.



## Planfall 08 - Parkraummanagement

Im Planfall 08 wird unterstellt, dass der Bereich mit Parkgebühren auf die bestehende Kernzone entsprechend Parkgebührenordnung ausgedehnt wird. Im Modell wird der Parkwiderstand im Bereich der bestehenden Kernzone einheitlich entsprechend City/ hoher Parkdruck - mit Parkgebühren angepasst. Nördlich der bestehenden Kernzone wird ein zusätzlicher Bereich mit Parkgebühren und Parkwiderstand entsprechend Innenstadt/ hoher Parkdruck - mit Parkgebühren modelliert. Im Bereich der Universität Kiel wird der Parkwiderstand erhöht. Im Ergebnis der Berechnung zeigt sich eine Verschiebung des Modal Split im Personenverkehr um 0,2% Binnen-, Quell- und Zielverkehr vom motorisierten Individualverkehr hin zum Umweltverbund. Auf dem THR reduziert sich die Querschnittsbelastung im Abschnitt zwischen Krusenrotter Weg und Dithmarscher Straße um ca. 100 Kfz/24h. Die Anteile der Dieselfahrzeuge <Euro 6 entsprechen im Planfall 08 der Größenordnung des Bezugsfalls.

## Planfälle 09 / 10 - Ergänzung ÖPNV durch tangentielle Schnellbuslinien entlang THR

In den Planfällen 09 und 10 wird das bestehende, radial auf den Kieler Hauptbahnhof ausgerichtete, Busliniennetz um jeweils zwei neue Buslinien ergänzt, die den THR im oben genannten Abschnitt befahren sollen. Beide Planfälle unterstellen ein Schnellbusangebot als U-Linie von Neumühlen-Dietrichsdorf nach Wik und das Einrichten einer neuen Bushaltestelle am Waldwiesenkreisel. Im Planfall 09 wird außerdem eine tangentielle Schnellbuslinie zwischen Bf Raisdorf und Mettenhof ergänzt und alternativ dazu im Planfall 10 eine tangentielle Schnellbuslinie zwischen Ostseepark und Citti-Park. Die neuen Buslinien verkehren zwischen 6 und 20 Uhr jeweils aller halben Stunden. Beide Planfälle bewirken keine modalen Verlagerungen, sondern eher räumlicher Verlagerungen der Fahrgäste innerhalb des Netzes des öffentlichen Verkehrs. Im Planfall 09 ist eine Zunahme um 600 Linienbeförderungsfälle zu erwarten und im Planfall 10 um 800 Linienbeförderungsfälle. Diese Ergebnisse führten im Ergebnis der verkehrsplanerischen Bewertung dazu, den Planfall 10 mit weiteren Maßnahmen zu kombinieren. Die Anteile der Dieselfahrzeuge <Euro 6 in den Planfällen 09 und 10 entsprechen in etwa denen des Bezugsfalls. Für die neu hinzukommenden Busse wird davon ausgegangen, dass sie mit sauberer Fahrzeugtechnik bzw. mit E-Motoren ausgerüstet sind

## MaaS-Szenarien

Für die drei MaaS-Planfälle werden Zunahmen in den Verkehrsbelastungen am THR im Abschnitt zwischen Krusenrotter Weg und Dithmarscher Straße prognostiziert. Bei einem unterstellten MaaS-Anteil von 5% am Modal Split passieren ca. 700 MaaS-Fahrzeuge den betreffenden Abschnitt am THR. Steigt der MaaS-Anteil auf 20% sind das ca. 9.200 Fahrzeuge am Tag und bei 30% MaaS-Anteil ca. 14.100 Fahrzeuge. Wenn unterstellt werden kann, dass die Fahrzeugflotte des MaaS-Anbieters rein elektrisch betrieben wird, ergeben sich positive Effekte auf die Emissionswirkung. Allerdings ist durch die Verkehrszunahme in den MaaS-Planfällen eher eine

Verschlechterung der Verkehrsqualität gegenüber dem Bestand auf dem THR zu erwarten. Die Zunahme der Verkehrsmengen in den MaaS-Szenarien bezieht sich ausschließlich auf Pkw-Fahrten, sodass sich Verdrängungseffekte in Bezug auf Lkw-Fahrten im Modell beobachten lassen. In der Tabelle 3 lassen sich diese Effekte in den sinkenden Schwerverkehrsanteilen und der Reduzierung der Anteile der Diesel-Lkw <Euro 6 nachvollziehen. Die Zunahme der elektrisch betriebenen MaaS-Pkw bewirkt aber auch in Bezug auf die Anteile Diesel-Pkw <Euro 6 eine Reduktion um bis zu 4 Prozent im Querschnitt am THR.

### **Planfall 05 - Reduzierung Kapazität auf dem THR und Einrichtung einer Busspur**

Als eine weitere Maßnahme zur Senkung der Schadstoffemissionen im Umfeld des THR wird untersucht, welche Effekte die Sperrung der rechten der Bebauung am nächsten liegende Fahrspur des THR in Richtung Westen bzw. auch in Richtung Osten auf die Emissionen und Immissionen bringen würde. Gleichzeitig muss aber untersucht werden, welche verkehrlichen Auswirkungen eine solche Kapazitätsreduzierung haben würde und wie sich Verkehrsnachfrage und Verkehrsströme verändern und auf diese neue Situation ausrichten.

Vorgeschlagen wird, die Fahrstreifenanzahl auf dem THR beidseitig (symmetrisch) von 3 auf 2 Fahrstreifen im Abschnitt zwischen Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel zu reduzieren, wobei jeweils in Fahrtrichtung der rechte Fahrstreifen entfällt. Die freiwerdende Verkehrsfläche könnte dann zum Beispiel als Busspur für neue tangente Buslinien genutzt werden. Es wäre auch denkbar, diese Busspur für private Pkw zu öffnen, etwa für Fahrzeuge mit Elektro-Antrieb und Fahrzeuge, die von Fahrgemeinschaften genutzt werden.

Für die Wirkungsermittlung im makroskopischen Verkehrsmodell werden im Planfall 05 Maßnahmen aus mehreren bereits oben beschriebenen Planfällen kombiniert:

- ▶ Maßnahmen des Planfalls 07
  - ▶ Tempolimit 50 km/h statt 70 km/h auf dem THR und
  - ▶ Sperrung Zufahrten aus/ in Nebenstraßen des THR
- ▶ Kapazitätseinschränkungen auf dem THR für den fließenden Kfz-Verkehr beidseitig (symmetrisch) von 3 auf 2 Fahrstreifen im Abschnitt zwischen Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel
- ▶ beidseitige Einrichtung einer Busspur auf dem THR
- ▶ Maßnahmen des Planfalls 10
  - ▶ zwei neue Schnellbuslinien auf dem THR.

Im Hinblick auf die Sperrung einmündender Nebenstraßen und der Einordnung einer Busspur ist auf dem Theodor-Heuss-Ring zwischen dem Barkauer Kreuz und dem Waldwiesenkreisel eine Neusortierung der bestehenden Richtungsfahrbahnen notwendig. Auf der Grundlage der bestehenden Fahrbahnbreiten von ca. 10,25 m je Richtungsfahrbahn wurde in Form einer Prinzipskizze ein Markierungsplan und ein

Regelquerschnitt erarbeitet (vgl. Anlage 1.47 und 1.48). Die neuen Richtungsfahrbahnen im Planfall 05 sind hierbei durch einen Bussonderfahrstreifen und zwei durchgehender Fahrstreifen für den fließenden Kfz-Verkehr gekennzeichnet. Deren Breiten entsprechen den Vorgaben der FGSV-Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt [9]) und variieren zwischen 3,25 m und 3,50 m. Die Trennung der Fahrstreifen erfolgt gemäß den FGSV-Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS [10]) mit einem Schmalstrich mit 3 m Strich und 6 m Lücke (S3/6) und zum Bussonderfahrstreifen mit einem durchgehenden Breitstrich. Zur Unterstützung des Sonderfahrstreifens ist außerdem die Markierung „BUS“ aufzutragen.

Da der Planfall 05 eine massive Einschränkung der Kapazität an dem ohnehin schon an der Auslastungsgrenze befindlichen neuralgischen Abschnitt im Kieler Straßennetz bedeutet, ist es zunächst wichtig, die verkehrlichen Auswirkungen umfassend zu untersuchen und zu verstehen, die Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage, Veränderungen der Verkehrsströme im unmittelbaren kleinräumigen Umfeld, im weiteren Umfeld des Stadtgebiets und im regionalen weiträumigen Kontext sowie weitere Effekte etwa Verlagerung von Zielen der Verkehrsnachfrage und modale Verlagerungen zu ermitteln und zu bewerten. Dazu werden die verfügbaren modellseitigen Werkzeuge eingesetzt:

- Das makroskopische Verkehrsmodell für das gesamte Stadtgebiet (PTV Visum)
- Die mikroskopische Verkehrsflusssimulation des Teilnetzes Theodor-Heuss-Ring und Umfeld mit PTV Vissim.

Zunächst wurde die Kapazitätsreduzierung von 3 auf 2 Fahrstreifen je Richtung im makroskopischen Verkehrsmodell der Landeshauptstadt Kiel [3] implementiert und die Verkehrsnachfrage neu berechnet. Die resultierenden modalen Nachfragematrizen MIV, ÖV, NMIV wurden auf die Verkehrsnetze umgelegt. Im Ergebnis dieser ersten Neuberechnung von Nachfrage und Umlegung ergab sich eine modellierte Verkehrsbelastung von 70.600 Fahrzeugen pro 24h im Querschnitt (beide Richtungen) am Theodor-Heuss-Ring. Dies entspricht einer Reduzierung gegenüber dem Referenzfall um 30.100 Fahrzeuge pro 24h. Entsprechend stark erhöhen sich die Belastungen auf den möglichen Umfahungsstrecken:

- Kleinräumig: Alte Lübecker Chaussee - Rondeel - Hamburger Chaussee
- Stadtgebiet: Bahnhofstr./ Sörenstr.-Schwedendamm - Bahnhofstr. - Kaistraße - Stresemannplatz - Ziegelteich - Kronshagener Str. bzw. Fortsetzung Kaistr. - Wall - Brunswiker Str. / Düsternbroker Weg
- Großräumig: Neue Hamburger Chaussee - Meinersdofer Weg - Hamburger Chaussee sowie A215 - B 404.

Modelltechnisch stellt sich in der makroskopischen Modellierung wieder ein Gleichgewicht ein, dass zu diesen 70.600 Fahrzeugen auf dem THR mit jeweils 2 Fahrstreifen je Richtung führt, allerdings mit einer entsprechenden Überschreitung der Leistungsfähigkeit und sehr stark reduzierten Geschwindigkeiten. Dies ist ein rein modelltechnisches Ergebnis, das in dieser Form nicht realistisch ist.

Hier stößt die rein makroskopische Modellierung an ihre Grenzen. Um zu bewerten, wie hoch denn die Leistungsfähigkeit des auf 2x2 Fahrstreifen reduzierten Abschnitts des THR ist, reicht die makroskopische Modellierung alleine nicht aus. Es wurde daher entschieden, das mikroskopische Simulationsmodell zu nutzen, um zu simulieren und zu errechnen, wie viele Fahrzeuge bei diesen veränderten Rahmenbedingungen den THR tatsächlich passieren können und das Ergebnis der mikroskopischen Simulation iterativ als Eingangsgröße für die Modellierung der Kapazität des THR in der makroskopischen Modellierung zu nutzen. Diese Iteration wurde mit dem makroskopischen Modell so lange fortgesetzt, bis in dem makroskopischen Modell nicht mehr Fahrzeuge den THR passieren, als dies laut Simulation tatsächlich möglich ist.

Die mikroskopische Simulation erfolgt im Szenario 4 (vergleiche Szenario 4 im Kapitel 3.2). Im Ergebnis dieses Szenarios ergab sich eine Leistungsfähigkeit des 2x2-streifigen Streckenabschnitts des THR von knapp über 55.000 Fahrzeugen pro 24h. Die Rückkopplung der Ergebnisse aus der mikroskopischen Betrachtungsebene in die makroskopische Modellierung erfolgt in einem zweiten Rechenlauf.

Die finalen Ergebnisse nach diesem iterativen Ansatz zwischen Mikro-Simulation und Makro-Modellierung ist der Planfall 05-2. Die Verkehrsbelastungen im Kfz-Verkehr reduzieren sich auf dem THR im Abschnitt zwischen Krusenrotter Weg und Dithmarscher Straße auf 55.200 Kfz/24h. Das bedeutet eine absolute Reduzierung der Verkehrsstärke gegenüber dem Referenzfall um 45.500 Kfz/24h. Diese Reduzierung setzt sich aus -43.200 Pkw/24h und -2.300 Lkw/24h zusammen. Die Anteile der Dieselfahrzeuge <Euro 6 auf dem THR im Planfall 05-2 entsprechen der Größenordnung des Bezugsfalls.

Diese Reduzierung der Anzahl Fahrzeuge auf dem kritischen Abschnitt des THR ist ein Ergebnis der Neuberechnung der Verkehrsnachfrage und der Umlegung dieser Nachfrage mit dem makroskopischen Verkehrsmodell. Modelltechnisch wird keine Nachfrage unterdrückt, werden auch nach der Veränderung alle Aktivitäten und die dafür notwendigen Wege durchgeführt. Allerdings ergeben sich durch die Neuberechnung des gesamten Nachfragemodells die folgenden Veränderungen im 4-Stufen-Ansatz:

► **Stufe 1: Verkehrserzeugung - Quellen der Nachfrage**

In der Anzahl Aktivitäten und daraus resultierend der Anzahl Wege zwischen Quellen und Zielen ergibt sich aufgrund der veränderten Kapazität am THR kein Unterschied. Langfristig kann sich durchaus eine Veränderung auch der Quellen ergeben, alsdass Einwohner ihren Wohnort der Erreichbarkeit anpassen. Dies wird allerdings im Modell nicht berücksichtigt.

► **Stufe 2: Verkehrsverteilung - Zielwahl**

Die Ziele von Aktivitäten sind für Fahrtzwecke „Arbeit“ und „Ausbildung“ als fest anzunehmen. „Weichere“ Ziele wie „Einkaufen“, „Freizeit“ und andere können bei Engpässen in der Kapazität durchaus verlagert werden. Das bedeutet, dass für

„Einkaufen“ Ziele interessant werden, die mit dem Pkw unter Vermeidung des THR erreichbar sind. Für die westlichen und nördlichen Bereich Kiels ist das Gebiet um den CITTI-Park Kiel, über Westring, B76-Nord, A215 gut mit dem Pkw erreichbar, für den Osten und Süden Kiels sind das z.B. die Einkaufsmärkte in Kiel-Elmschenhagen, durch Preetzer Straße und B76-Ost gut mit dem Pkw erreichbar oder auch der Ostseepark in Raisdorf.

➤ **Stufe 3: Verkehrsaufteilung - Verkehrsmittelwahl**

Bei der modalen Aufteilung ergeben sich durch die massiven Kapazitätsveränderungen am THR und den damit einhergehenden längeren Fahrtzeiten mit dem Pkw entsprechende Veränderungen in der Verkehrsnachfrage:

Der Modal Split im Personenverkehr verschiebt sich um 0,5% vom motorisierten Individualverkehr hin zum Umweltverbund. Der öffentliche Personenverkehr gewinnt um 0,2% Anteile hinzu.

Die Linienbeförderungsfälle nehmen um 3.100 gegenüber dem Bezugsfall zu (+28.680 Personenkilometer).

➤ **Stufe 4: Umlegung - Routenwahl**

Infolge der Fahrstreifenreduzierung auf dem THR ergeben sich Verkehrsverlagerung im Straßennetz. Verkehrsteilnehmer versuchen ihre Ziele unter Vermeidung des kapazitätsreduzierten Abschnitts des THR zu erreichen. Der Effekt von Straßen mit Umgehungsfunktion wie der THR ist, dass Anzahl Fahrzeugkilometer in einem Kernbereich abnehmen, dass die Wege aber tendenziell länger werden, da Ziele schneller erreicht werden können, durch Umfahrung des Kernstadtbereichs und Zufahrt in den Kernbereich von der Seite, die der Umfahrungsstraße am nächsten liegt. Wird die Kapazität auf einer Umgehungsstraße reduziert, so dass die Reisezeiten über diese Straße steigen, werden zeitlich gesehen die kürzeren und direkteren Verbindungen wieder attraktiver. Mehr Verkehrsteilnehmer fahren unter Vermeidung der Umgehungsstraße direkt in den Kernbereich, legen mehr Kilometer im Kernbereich zurück, fahren insgesamt aber weniger lange Strecken. Dieser Effekt ist im Modell in der Tat wahrnehmbar: Insgesamt nimmt die Pkw-Fahrleistung um ca. 140.000 Fahrzeugkilometer pro Tag ab, das entspricht einer Reduzierung um 3% gegenüber dem Bestand.

Insgesamt verteilt sich daher der verlagerte Verkehr vom THR flächiger in der Region Kiel:

➤ **Kleinräumig:**

Auf der unmittelbaren Umfahrungsstraße und Ableitungsstrecke Hamburger Chaussee - Alte Lübecker Chaussee werden im Modell Verkehrszunahmen in Höhe von 1.900 bis 5.100 Kfz/24h berechnet,

► **Stadtgebiet**

Im übrigen Stadtgebiet werden im Modell Verkehrszunahmen errechnet: auf der Bahnhofstraße - Kaistraße bis 8.500 Kfz/24h, auf der Gablenzbrücke bis 4.000 Kfz/24h zu erwarten.

► **Weiträumig**

Für die aus Richtung Süden auf den THR mündenden Straßen ergeben sich im Modell Verkehrsbelastungen bis 5.800 Kfz/24h auf der A215 und Verkehrszunahmen auf der K79 - K24 - K28 bis ca. 1.200 Kfz/24h und auf der L318 - B404 bis 3.600 Kfz/24h.

Aus den modellierten Veränderungen im Planfall 5 ergeben sich bezogen auf den Quell-, Ziel- und Binnenverkehr von Kiel in Summe die in der folgenden Tabelle dargestellten Verkehrsverlagerungen zwischen den Modi als Veränderungen bei den Personenwegen/24h. Im Planfall 5 reduzieren sich die täglich im MIV zurückgelegten Wege bezogen auf Kiel um 7.300 Personenwege/24h. Von diesen im MIV eingesparten Wegen verlagern sich 28,2% zum ÖV, 18,7% zum Fuß- und 20,5% zum Radverkehr. Die verbleibenden 32,6 % der im MIV eingesparten Wege verschieben sich in den Außenverkehr von Kiel, das bedeutet diese Wege haben im Planfall 5 weder Quelle noch Ziel im Stadtgebiet Kiel. Diese Verlagerungen resultieren aus Veränderungen bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl. Weitere Entlastungen werden durch die Kapazitätseinschränkungen am THR im Planfall 5 und die dadurch hervorgerufenen Änderungen der Routenwahl bedingt.

Planfall 5 Veränderung Personenwege/24h bezogen auf Kiel				
MIV	OEV	Fuß	Rad	Außenverkehr
-7.300	28,2%	18,7%	20,5%	32,6%

Tabelle 9: Modale Verkehrsverlagerungen im Planfall 5

Die mittels der verkehrsplanerischen Modellrechnungen erzielten Ergebnisse sind realistisch, da sie mit den korrekten Eingangsgrößen, dem akzeptierten Modellszenario und dem kalibrierten Modell der Landeshauptstadt Kiel ermittelt wurden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich bei diesen Modellergebnissen um die mittel- bis langfristige Einstellung eines Gleichgewichts handelt, das in der Realität einer längeren Einschwingphase bedarf. Das bedeutet konkret, dass sich bei der Einrichtung der Busspur, also bei der dauerhaften Reduzierung der Kapazität am Theodor-Heuss-Ring zunächst ähnlich wie bei einer temporären Baustelle, Staueffekte zeigen, die für einige Tage bis Wochen durchaus dramatisch sein können. Es wird eine gewisse Zeit dauern, bis sich die Verkehrsteilnehmer und Einwohner der Region Kiel an die neue Situation anpassen, indem sie

- zunächst weiter mit dem Pkw zu ihren Zielen fahren und einfach andere Routen suchen, ausprobieren und sich im Erfolgsfall für andere Routen entscheiden; dies

können in vielen Fällen kürzere Routen sein (der umgekehrte „Umgehungsstraßeneffekt“), z.B. in die Kieler Innenstadt unter Vermeidung des THR, wodurch die Reiseweiten tatsächlich abnehmen können, die Reisezeiten gegenüber heute teilweise zunehmen und die Verkehrsbelastungen auf den Innenstadtstraßen jedenfalls zunehmen werden;

- sollte das nicht funktionieren, für diejenigen Fahrtziele, für die sie eine „freie“ Zielwahl haben, also z.B. Fahrtzweck „Einkaufen“ und „Freizeit“ andere Ziele suchen werden, etwa außerhalb von Kiel;
- für Fahrtzwecke mit festem Ziel, insbesondere „Arbeit“ und „Ausbildung“, aber auch für die anderen Ziele, bei denen obiges nicht funktioniert, nach anderen Fahrtzeiten suchen, früher oder später losfahren,
- bzw. sich schließlich für andere Verkehrsmittel entscheiden, Pkw-Mitfahrt, ÖPNV, Fahrrad, zu Fuß oder eine Kombination daraus.

Dieser Prozess wird eine Einlaufzeit benötigen, die auch mehrere Wochen dauern kann. Wie gesagt, mittel- bis langfristig wird sich mit diesen Veränderungen in den mehrschichtigen Entscheidungsprozessen wieder ein Gleichgewicht einstellen, alle Verkehrsnachfragemünsche werden befriedigt. Kurzfristig wird es aber zu Überlastungen und Staus kommen. Dies auszuhalten und zu erläutern ist Aufgabe von Politik und Verwaltung.

## Zusätzliche Varianten der Stadt Kiel vom 19.10.2018

### Variante 1 - Vergrößern der Entfernung der Diesel-Kfz von Immissionshotspot

Für das von städtischer Seite ins Spiel gebrachte einseitige Fahrverbot für Dieselfahrzeuge mit Emissionsklasse schlechter als Euro 6 auf dem rechten Fahrstreifen wurden aus der automatischen Verkehrszählung vom 16.11.2017 am THR in Höhe der Messstation Faktoren für die Aufteilung der Fahrzeuge auf die Fahrstreifen nach Fahrzeugarten abgeleitet und auf die Planfälle angewendet. Für das Referenzszenario - Planfall 00 ergeben sich daraus folgende Verkehrsmengen.

Modell PF00 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	46.500	8.349	19.563	18.589	46.500	24.198	22.302
davon Pkw D Euro 1-5	16.000	2.873	6.731	6.396	16.000	8.326	7.674
Lkw	4.000	808	2.442	750	3.700	1.394	2.306
davon Lkw D Euro 1-5	1.800	364	1.099	338	1.800	678	1.122
Gesamt	50.500	9.157	22.004	19.339	50.200	25.593	24.607

Tabelle 10: Fahrstreifenaufteilung Planfall 00

Bei einer Sperrung des rechten Fahrstreifens in Fahrtrichtung West für Dieselfahrzeuge mit Emissionsklasse schlechter als Euro 6 ergeben sich für den Planfall 00-Variante 1 folgende Verkehrsmengen für die Fahrstreifen.

Modell PF00 - V1 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	46.500	8.349	19.563	18.589	46.500	26.504	19.996
davon Pkw D Euro 1-5	16.000	2.873	6.731	6.396	16.000	16.000	0
Lkw	4.000	808	2.442	750	3.700	2.516	1.184
davon Lkw D Euro 1-5	1.800	364	1.099	338	1.800	1.800	0
Gesamt	50.500	9.157	22.004	19.339	50.200	29.020	21.180

Tabelle 11: Fahrstreifenaufteilung Planfall 00 - Variante 1

Für die Planfälle 01 bis 05 werden die Fahrstreifenaufteilungen gemäß Variante 1 vom 19.10.2018 in den folgenden Tabellen dargestellt.

Modell PF01 - V1 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	46.600	8.367	19.605	18.629	37.200	22.101	15.099
davon Pkw D Euro 1-5	16.000	2.873	6.731	6.396	0	0	0
Lkw	3.900	788	2.381	731	4.400	2.904	1.496
davon Lkw D Euro 1-5	1.800	364	1.099	338	2.000	2.000	0
Gesamt	50.500	9.154	21.985	19.360	41.600	25.005	16.595

Tabelle 12: Fahrstreifenaufteilung Planfall 01 - Variante 1

Modell PF02 - V1 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	46.700	8.384	19.647	18.669	39.200	21.895	17.305
davon Pkw D Euro 1-5	16.100	2.891	6.773	6.436	0	0	0
Lkw	3.800	768	2.320	713	2.400	904	1.496
davon Lkw D Euro 1-5	1.800	364	1.099	338	0	0	0
Gesamt	50.500	9.152	21.966	19.381	41.600	22.800	18.800

Tabelle 13: Fahrstreifenaufteilung Planfall 02 - Variante 1



Modell PF03 - V1 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	35.700	6.410	15.019	14.271	36.100	21.466	14.634
davon Pkw D Euro 1-5	0	0	0	0	0	0	0
Lkw	4.200	848	2.564	788	4.300	2.867	1.433
davon Lkw D Euro 1-5	2.000	404	1.221	375	2.000	2.000	0
Gesamt	39.900	7.258	17.583	15.059	40.400	24.333	16.067

Tabelle 14: Fahrstreifenaufteilung Planfall 03 - Variante 1

Modell PF04 - V1 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	36.100	6.481	15.187	14.431	36.800	20.584	16.216
davon Pkw D Euro 1-5	0	0	0	0	0	0	0
Lkw	2.300	465	1.404	431	2.300	867	1.433
davon Lkw D Euro 1-5	0	0	0	0	0	0	0
Gesamt	38.400	6.946	16.591	14.863	39.100	21.451	17.649

Tabelle 15: Fahrstreifenaufteilung Planfall 04 - Variante 1

Modell PF05-2 - V1 [Kfz/24h]	Fahrtrichtung Ost				Fahrtrichtung West		
	Summe	rechts	mitte	links	Summe	links + mitte	rechts
Pkw	25.300	0	12.973	12.327	24.400	24.400	0
davon Pkw D Euro 1-5	8.700	0	4.461	4.239	8.400	8.400	0
Lkw	2.800	0	2.142	658	2.600	2.600	0
davon Lkw D Euro 1-5	1.300	0	994	306	1.200	1.200	0
Gesamt	28.100	0	15.115	12.985	27.000	27.000	0

Tabelle 16: Fahrstreifenaufteilung Planfall 05-2 - Variante 1

### Variante 2 - Fahrgemeinschafts-/ E-Fahrzeugfahrstreifen auf rechten Fahrstreifen

Eine Öffnung der Busspur für Elektrofahrzeuge wäre rechtlich möglich. Angesichts des sehr niedrigen Flottenanteils elektrisch angetriebener Pkw im Raum Kiel ist kurzfristig aber kein Effekt zu erwarten und daher wird dieser Fall hier nicht weiter

untersetzt. Fahrgemeinschaftsspuren, analog zu den „HOV - High Occupancy Vehicles“ in den USA, wären Fahrspuren, die speziell für Fahrgemeinschaften und Busse reserviert sind. Gegenwärtig erlaubt die deutsche Straßenverkehrsordnung eine gesonderte Nutzungseinschränkung bzw. ausschließliche Nutzung in Abhängigkeit von der Insassenanzahl nicht. Das Wirtschaftsministerium prüft derzeit, ob eine Busspur auf dem THR im Rahmen eines zeitlich begrenzten wissenschaftlich begleiteten Pilotversuches für Pkw-Fahrgemeinschaften geöffnet werden könnte.

Um das Potenzial der Fahrgemeinschaftsspuren auf dem Theodor-Heuss-Ring in Kiel abzuschätzen wurden die Erhebungsergebnisse aus der Mobilitätsbefragung SrV 2013 [11] [12] ausgewertet. Es wird deutlich, dass die Wege, die ein hohes Potenzial an Begleitpersonen resp. Pkw-Mitfahrern haben, ein vergleichsweise geringes Aufkommen und niedrigen MIV-Anteil aufweisen. Arbeitswege dagegen haben ein hohes spezifisches Verkehrsaufkommen und hohe MIV-Anteile bei niedrigen Anteilen begleiteter Wege. Den höchsten Pkw-Besetzungsgrad haben Fahrten mit Bezug zu Kindereinrichtungen. Für Fahrten von und zur Arbeit wird ein Pkw-Besetzungsgrad von 1,1 Personen pro Pkw-Fahrt ausgewiesen. [12, p. Tab16.9] Der mittlere Pkw-Besetzungsgrad liegt wie in Kiel bei 1,3 Personen pro Pkw-Fahrt. [12, p. Tab1.2] Daraus wird abgeleitet, dass für Pkw-Fahrten die innerhalb der Stadt Kiel beginnen und enden (Binnenverkehr) in der Morgenspitze ein Mitfahrerpotenzial von 26 %, in der Abendspitze von 23 % und im Mittel von 25 % besteht. Pkw-Fahrten die außerhalb Kiels beginnen oder enden (Quell-/ Zielverkehr) sind in den Spitzenstunden von Arbeitspendlern dominiert, für welche ein Pkw-Besetzungsgrad von 1,1 Personen pro Pkw-Fahrt bzw. ein Mitfahrerpotenzial von 10 % anzusetzen ist. Für Durchgangsverkehre kann ein mittlerer Pkw-Besetzungsgrad von 1,3 Personen pro Pkw-Fahrt angesetzt werden.

Aus dem Verkehrsmodell der Stadt Kiel [3] lässt sich mittels Strombündelanalyse (Spinne) für den Theodor-Heuss-Ring die Anzahl der Pkw den räumlichen Verkehrsarten zuordnen. Im Bezugsfall PF00 entfallen 36% der Pkw-Fahrten die den THR im Abschnitt zwischen Krusenrotter Weg und Dithmarscher Straße auf den Binnenverkehr, 52% auf Quell-/ Zielverkehr und 13% auf den Durchgangsverkehr. Daraus und aus den o.g. Kennwerten ergibt sich ein Mitfahrerpotenzial von 18% für den Theodor-Heuss-Ring.

Aus dem Mitfahrerpotenzial allein lässt sich allerdings noch nicht auf die Anzahl der Pkw-Fahrgemeinschaften schließen, da davon ausgegangen werden kann, dass Fahrer die Mitfahrer mitnehmen grundsätzlich bereit sind, ihre Fahrt mit mehr als einer Person zu teilen. Dieser Umstand wirkt sich grundsätzlich mindernd auf die Anzahl der Pkw mit Fahrgemeinschaften aus. Es wird abgeschätzt, dass die Gruppe der Mitfahrer zu 70% mit einem Besetzungsgrad von 2 Personen pro Pkw-Fahrt und 25% mit Besetzungsgrad 3 sowie 5% in vollbesetzten Pkw also mit Besetzungsgrad 4 unterwegs sind. Daraus lässt sich rechnerisch ein Anteil von 15% an mehrfachbesetzten Pkw für den Theodor-Heuss-Ring ableiten. Dieser Wert erscheint vor den Einschätzungen aus [13], die für Deutschland einen Anteil an Fahrgemeinschaften von ca. 6% angeben, hoch - aber nicht unrealistisch.

Vom 16.11.2017 liegen Zählergebnisse aus einer automatischen 24-Stunden-Zählung vor, die für den Gesamttag 106.439 Kfz insgesamt für den Theodor-Heuss-Ring in Höhe Krusenrotter Weg ermittelt haben. Davon entfallen 47.483 auf Pkw in Fahrtrichtung West und 48.884 auf Pkw in Fahrtrichtung Ost. Geschätzt könnten also in Fahrtrichtung West 7.200 und in Fahrtrichtung Ost 7.300 Pkw pro Tag als Fahrgegemeinschaften angesehen werden.

### 3.1.2.2 Umweltauswirkungen - Emissionen

Die Umweltauswirkungen der verkehrlichen Veränderungen infolge der untersuchten Maßnahmen werden durch das angekoppelte Emissionsmodell mittels HBEFA [5] berechnet. Die folgenden Auswertungen beinhalten Ergebnisse für zwei unterschiedlich große Bilanzgebiete. Das erste Bilanzgebiet bezieht sich auf einen 273m langen Straßenabschnitt des Theodor-Heus-Ring zwischen Barkauer Kreuz und Waldwießenkreisel, an dem sich die Messstation DESH052 in der Statistik des Umweltbundesamtes, betrieben durch das Land SH, befindet. Das zweite Bilanzgebiet deckt das gesamte Stadtgebiet Kiels ab inklusive einer ca. 3km Pufferzone um die Stadtgrenze herum.

Die folgenden Tabelle 17 und Tabelle 18 stellen die Emissionen für das Bezugsjahr 2017 und die Planungshorizonte 2019 und 2021 für zwei unterschiedliche Kategorien hinsichtlich der Flottenentwicklung dar. In der Kategorie 0 - Neue Randbedingungen werden die Auswirkungen der natürlichen Flottenerneuerung bis zum Jahr 2021 quantifiziert. In der Kategorie 1 - Maßnahmen Diesel-Gipfel werden für die Prognosejahre in der Flottenentwicklung zusätzlich Software-Updates und Umstiegsprämien berücksichtigt.

Kiel +3km Puffer	NO <sub>x</sub>			NO <sub>2</sub>		
	t/24h	Delta zu 2017		t/24h	Delta zu 2017	
2017	2,782			0,774		
natürliche Flottenentwicklung						
2019	2,357	- 0,424	-15,2%	0,666	- 0,109	-14,0%
2021	2,220	- 0,562	-20,2%	0,570	- 0,204	-26,4%
Flottenentwicklung infolge Diesel-Gipfel						
2019	1,960	- 0,821	-29,5%	0,481	- 0,293	-37,9%
2021	1,857	- 0,924	-33,2%	0,441	- 0,333	-43,1%

Tabelle 17: NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen - Bilanzgebiet Kiel - Flottenentwicklung

Kiel THR 273m	NO <sub>x</sub>			NO <sub>2</sub>		
	kg/24h pro 100m	Delta zu 2017		kg/24h pro 100m	Delta zu 2017	
2017	9,36			2,22		
natürliche Flottenentwicklung						
2019	8,66	- 0,70	-7,5%	1,950	- 0,27	-12,1%
2021	7,68	- 1,68	-18,0%	1,605	- 0,61	-27,6%
Flottenentwicklung infolge Diesel-Gipfel						
2019	7,07	- 2,30	-24,5%	1,395	- 0,82	-37,1%
2021	6,70	- 2,66	-28,5%	1,255	- 0,96	-43,4%

Tabelle 18: NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen - Bilanzgebiet Theodor-Heuss-Ring - Flottenentwicklung

In Tabelle 19 werden die Auswirkungen der verkehrlichen Maßnahmen auf die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt. Allen Emissionsberechnungen zu den verkehrlichen Maßnahmen liegt die Flottenzusammensetzung für das Jahr 2017 zugrunde.

Kiel +3km Puffer	NO <sub>x</sub>			NO <sub>2</sub>		
	t/24h pro 100m	Delta zu PF00		t/24h pro 100m	Delta zu PF00	
PF00	2,782			0,774		
PF01	2,779	- 0,003	-0,1%	0,773	- 0,001	-0,1%
PF02	2,771	- 0,011	-0,4%	0,772	- 0,002	-0,3%
PF03	2,769	- 0,012	-0,4%	0,771	- 0,003	-0,4%
PF04	2,764	- 0,018	-0,6%	0,770	- 0,004	-0,5%
PF05-2	2,606	- 0,176	-6,3%	0,728	- 0,046	-5,9%
PF06	2,779	- 0,003	-0,1%	0,771	- 0,003	-0,4%
PF07	2,765	- 0,016	-0,6%	0,771	- 0,003	-0,4%
PF08	2,770	- 0,012	-0,4%	0,771	- 0,003	-0,4%
PF09	2,790	0,009	0,3%	0,776	0,002	0,2%
PF10	2,788	0,006	0,2%	0,776	0,001	0,2%
MaaS 5%	2,770	- 0,011	-0,4%	0,771	- 0,003	-0,5%
MaaS 20%	2,768	- 0,013	-0,5%	0,767	- 0,007	-0,9%
MaaS 30%	2,736	- 0,045	-1,6%	0,756	- 0,019	-2,4%

Tabelle 19: NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen - Bilanzgebiet Kiel - verkehrliche Maßnahmen

Der Planfall 05-2 zeigt in den Emissionswirkungen bezogen auf das gesamte Stadtgebiet die größten Reduktionspotenziale gegenüber dem Istzustand. Minimale Zuwächse ergeben sich in den Planfällen 9 und 10, in denen zwar neue Buslinien das

ÖV-Angebot verbessern, aber keine relevanten modalen Verlagerungen auf den Umweltverbund erzielt werden.

Für die drei MaaS-Planfälle wird unterstellt, dass die MaaS-Fahrzeugflotte rein elektrisch angetrieben wird. Dadurch ergeben sich Reduktionen in den Emissionen. Würden diese Sharing-Fahrzeuge konventionell angetrieben, wäre eher mit Verschlechterungen in der Emissionsbilanz im Stadtgebiet zu rechnen. Ursache dafür ist, dass die modalen Verlagerungen zugunsten des MaaS-Angebotes nicht nur aus dem Pkw-Verkehr sondern auch aus dem Umweltverbund gespeist werden und somit zu mehr Kfz-Verkehr auf den Stadtstraßen von Kiel führen.

Von den Planfällen 01 bis 04, in denen lokale Durchfahrtsbeschränkungen für problematische Dieselfahrzeuge untersucht wurden, zeigt der Planfall 04, in dem ein Durchfahrtsverbot für alle Diesel-Kfz unter Euro 6 auf Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen unterstellt wird, die größte Wirkung. In der räumlichen Verkehrsverlagerung des betreffenden Fahrzeugsegmentes ist zu beobachten, dass die Diesel-Kfz unter Euro 6 kürzere Routen durch die Innenstadt fahren. Diese Reduktion in der Fahrleistung der Diesel-Kfz unter Euro 6 führt zu einem Rückgang in den Emissionen. Die frei werdenden Kapazitäten auf dem Theodor-Heuss-Ring, der in den Planfällen 01 bis 04 nach wie vor ein sehr attraktives Netzelement des Hauptverkehrsstraßennetzes von Kiel ist, werden durch Kfz aufgefüllt, die nicht den Durchfahrtsbeschränkungen unterliegen, sodass in der Summe der Pkw-Fahrleistungen Zuwächse zwischen 0,1 und 0,2% und für den Lkw-Verkehr bis 1,7% gegenüber dem Bezugsfall zu erwarten sind.

In der nachfolgenden Tabelle 20 sind nur für den 273m langen Streckenabschnitt des Theodor-Heuss-Rings die Emissionsbilanzen für die Luftschadstoffe  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  bezogen auf 100m-Einheiten dargestellt, um die lokalen Auswirkungen auf die Messstation DESH052 beurteilen zu können.

Es ist ersichtlich, dass im Planfall 06, in dem eine Vollsperrung des Theodor-Heuss-Rings in beiden Fahrtrichtungen zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz modelliert wurde, die höchsten Rückgänge in den Emissionen zu verzeichnen sind, da praktisch nur noch Anlieger den Streckenabschnitt frequentieren können.

Nur geringe Auswirkungen auf die Emissionsbilanz am THR zeigen die Planfälle 08 (Parkraummanagement) sowie 09 und 10 (zusätzliche ÖV-Angebote), da die erzielten modalen Verlagerungen hin zum Umweltverbund eher flächig im Stadtgebiet erzielt werden und kaum Wirkungen am THR zeigen.

Relevante Reduktionen am THR können in den Planfällen 01 bis 04 (Durchfahrtsverbote) erzielt werden. Gleiches trifft auf den Planfall 05 zu, in dem eine Maßnahmenkombination aus Kapazitätseinschränkung für den fließenden Kfz-Verkehr auf dem THR zusammen mit der Einführung eines Tempolimits von 50 km/h plus Sperrung Zufahrten aus/ in Nebenstraßen des THR und der Einführung zwei neuer Schnellbuslinien betrachtet wird.

Ergänzend wurde in den Planfällen 05-2, 09 und 10, in denen neue Buslinien auf

dem THR verkehren, untersucht, welche Auswirkungen eine Umstellung der Fahrzeuge auf E-Antrieb im Hinblick auf die Emissionen bewirkt.

Für die drei MaaS-Planfälle wird unterstellt, dass die MaaS-Fahrzeugflotte rein elektrisch angetrieben wird. Dadurch ergeben sich Reduktionen in den Emissionen obwohl die Verkehrsmengen auf dem THR eher zunehmen werden.

Kiel THR 273m	NO <sub>x</sub>			NO <sub>2</sub>		
	kg/24h pro 100m	Delta zu PF00		kg/24h pro 100m	Delta zu PF00	
PF00	9,36			2,22		
PF01	7,31	- 2,06	-22%	1,71	- 0,51	-23%
PF02	6,85	- 2,51	-27%	1,68	- 0,54	-24%
PF03	4,64	- 4,72	-50%	1,08	- 1,14	-51%
PF04	3,42	- 5,94	-63%	0,91	- 1,31	-59%
PF05-2	6,38	- 2,98	-32%	1,42	- 0,80	-36%
PF05-2 E-Bus	6,27	- 3,10	-33%	1,39	- 0,83	-37%
PF06	0,12	- 9,25	-99%	0,04	- 2,18	-98%
PF07	8,87	- 0,49	-5%	2,13	- 0,09	-4%
PF08	9,37	0,01	0%	2,22	- 0,00	0%
PF09	9,46	0,09	1%	2,24	0,02	1%
PF09 E-Bus	9,35	- 0,01	0%	2,22	- 0,00	0%
PF10	9,45	0,09	1%	2,24	0,02	1%
PF10 E-Bus	9,35	- 0,01	0%	2,22	- 0,00	0%
Maas 5%	9,31	- 0,06	-1%	2,21	- 0,01	-1%
Maas 20%	8,81	- 0,55	-6%	2,10	- 0,12	-5%
Maas 30%	8,55	- 0,81	-9%	2,03	- 0,19	-8%

Tabelle 20: NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen - Bilanzgebiet Theodor-Heuss-Ring - verkehrliche Maßnahmen

Diese Berechnungen der Wirkungen der unterschiedlichen Planfälle beziehen sich auf das Referenzjahr 2017.

### 3.1.2.3 Umweltauswirkungen - Immissionen

Als Modellumgriff für die Immissionsberechnungen wurde das Stadtgebiet Kiel mit einer ca. 3km breiten Pufferzone definiert (Anlage 3.1). Alle Ergebnisse zu den Immissionsberechnungen sind in einem Webtool, dem TNO-Publisher, im Detail veröffentlicht. In den Anlagen 3.2 bis 3.17 sind die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen grafisch im Netzzusammenhang, die Bilanzen der NO<sub>2</sub>-Werte an den Messpunkten und die Kennwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastungen bezogen auf das Stadtgebiet dargestellt.

Die Anlagen 3.18 bis 3.29 enthalten Darstellungen der betroffenen Gebäude in Kiel, für die der Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$  überschritten wird. In der folgenden Tabelle 21 sind relevante Kenngrößen der Betroffenheit von Schadstoffimmissionen im Stadtgebiet Kiel zusammengefasst dargestellt.

Jahr	Planfall	Beschreibung	Einwohner > $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$		Fläche (m <sup>2</sup> ) > $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$		Straßen (m) > $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{NO}_2$	
			abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.
2017	PF00	Referenzszenario Bezugsjahr	625	0,21%	18.200	0,01%	16.400	2,97%
2019	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	301	0,10%	10.000	0,01%	11.170	2,06%
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	233	0,08%	6.100	0,00%	9.240	1,68%
	PF01 a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrrichtung Westen	231	0,08%	8.200	0,01%	15.020	2,72%
	PF01 b	Durchfahrtsverbot für Diesel- Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrrichtung Westen + Dieselpipfel	193	0,06%	5.800	0,00%	12.420	2,25%
	PF02 a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrrichtung Westen	214	0,07%	8.300	0,01%	14.810	2,69%
	PF02 b	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrrichtung Westen + Dieselpipfel	169	0,06%	6.000	0,00%	12.130	2,20%
	PF05 a	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR	357	0,12%	18.400	0,01%	4.950	0,90%
	PF05 b	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR +Dieselpipfel	117	0,04%	13.500	0,01%	3.340	0,61%
2021	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	202	0,07%	4.000	0,00%	6.890	1,25%
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	175	0,06%	400	0,00%	5.390	0,98%

Tabelle 21: Kenngrößen Betroffenheit von  $\text{NO}_2$ -Immissionen Stadtgebiet Kiel

Für den Planfall 00, der als Referenzszenario dient, ergeben sich allein durch die Änderungen in der Flottenzusammensetzung für die Jahre 2019 und 2021 Reduktionen in den Betroffenheiten und den Immissionswerten bezogen auf das Stadtgebiet Kiel. Durch die verkehrlichen Maßnahmen in den Planfällen 01 bis 05 können weitere Reduktionspotenziale erschlossen werden.

Für den nördlichen Abschnitt des Theodor-Heuss-Ring im Abschnitt zwischen Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel an dem sich die Messstation DESH052 befindet, wurden folgende prognostische Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionen berechnet (Tabelle 22). Daraus lässt sich ableiten, dass die hier untersuchten Planfälle 01 bis 05 geeignete verkehrliche Maßnahmen beinhalten, um die Schadstoffimmissionen am Theodor-Heuss-Ring in Kiel wirksam zu senken.

Jahr	Planfall	Beschreibung	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )
2017	PF00	Referenzszenario Bezugsjahr	64,4	29,1
	<hr/>			
2019	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	58,6	28,4
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	54,8	28,4
	PF01 a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	50,9	28,4
	PF01 b	Durchfahrtsverbot für Diesel- Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen + Dieselpipfel	49,0	28,4
	PF02 a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	49,3	27,9
	PF02 b	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen + Dieselpipfel	47,5	27,9
	PF05 a	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR	42,3	24,8
	PF05 b	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR +Dieselpipfel	40,1	24,8
2021	<hr/>			
	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	50,8	27,9
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	47,9	27,9

Tabelle 22: Jahresmittelwerte NO<sub>2</sub>-Immissionen am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord)



In der Bahnhofstraße nehmen die Belastungen über die Jahre 2017 bis 2021 ab. Die Sperrscenarien erhöhen hier allerdings die Belastungen wieder. Insgesamt bleiben aber auch trotz Dieselfahrverboten oder Kapazitätseinschränkung auf dem Theodor-Heuss-Ring die NO<sub>2</sub>-Belastungen in der Bahnhofstraße im Jahr 2019 jeweils unterhalb des Wertes für das Jahr 2017 und unterhalb des Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup>.

Jahr	Planfall	Beschreibung	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )
2017	PF00	Referenzszenario Bezugsjahr	42,6	25,9
	<hr/>			
2019	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	38,6	25,4
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	36,4	25,4
	PF01a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	38,8	26,3
	PF01b	Durchfahrtsverbot für Diesel- Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen + Dieselpipfel	37,1	26,2
	PF02a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	38,4	26,1
	PF02b	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen + Dieselpipfel	36,7	26,1
	PF05 a	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR	37,1	24,8
	PF05 b	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR +Dieselpipfel	34,9	24,8
2021	<hr/>			
	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	34,2	25,1
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	32,4	25,1

Tabelle 23: Jahresmittelwerte NO<sub>2</sub>-Immissionen in der Bahnhofstraße

An der vom Verkehr wenig beeinflussten Messstelle für Hintergrundbelastungen in der Max-Planck-Straße lässt sich die Entwicklung von 2017 nach 2019 und 2021 erkennen. Innerhalb der verkehrlichen Szenarien sind hier keine Veränderungen feststellbar.

Jahr	Planfall	Beschreibung	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )
2017	PF00	Referenzszenario Bezugsjahr	18,1	19,7
	<hr/>			
2019	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	17,3	19,6
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	17,3	19,6
	PF01a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	17,3	19,6
	PF01b	Durchfahrtsverbot für Diesel- Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen + Dieselpipfel	17,3	19,6
	PF02a	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	17,3	19,6
	PF02b	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen + Dieselpipfel	17,3	19,6
	PF05 a	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR	17,2	19,5
	PF05 b	Kapazitätseinschränkung auf 2 Fahrstreifen plus Busspur auf THR +Dieselpipfel	17,2	19,5
2021	<hr/>			
	PF00 a	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung	16,6	19,4
	PF00 b	Referenzfall mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	16,6	19,4

Tabelle 24: Jahresmittelwerte NO<sub>2</sub>-Immissionen an der Max-Planck-Straße

## 3.2 Lokale Simulation mit mikroskopischer Wirkungsberechnung

Mittels Mikrosimulation mit PTV Vissim werden für einen räumlich begrenzten Bereich Wirkungsuntersuchungen für vielfältige Maßnahmen aus den Bereichen Verkehrstechnik, Verkehrssteuerung und Verkehrsmanagement durchgeführt. Aus dem Maßnahmenkatalog werden die für die Mikrosimulation relevanten Maßnahmen übernommen und einer Ersteinschätzung unterzogen.

### 3.2.1 Simulation Verkehr

#### Eingesetzte Software

PTV Vissim ist ein mikroskopisches, zeitschrittorientiertes und verhaltensbasiertes Simulationsmodell zur Nachbildung des Verkehrsgeschehens. In dem Programm sind ein Fahrzeugfolgmodell für die Nachbildung der Kolonnenfahrt auf einem Fahrstreifen (psycho-physisches Wahrnehmungsmodell von WIEDEMANN) und ein Fahrstreifenwechselmodell enthalten. Das Fahrzeugfolge-Modell ermöglicht eine zeitliche Auflösung von bis zu 1/10 Sekunde. Das regelbasierte Fahrstreifenwechsel-Modell ist sowohl für den innerstädtischen als auch den Außerortsverkehr optimiert. Die Fahrverhalten sind über frei definierbare Fahrer-Fahrzeugklassen festgelegt. Somit sind in PTV Vissim nahezu unbegrenzte Möglichkeiten der Einstellungen von Fahrverhalten abhängig von Straßen- und Fahrertyp möglich. Ein PTV Vissim-Verkehrsmodell besteht aus statischen Daten zur Netzbeschreibung (Netzmodell) und dynamischen Daten, zu denen alle Informationen gehören, die den simulierten Verkehr beschreiben.

#### Modellaufbau und Kalibrierung - Bezugsfall

Das Simulationsmodell beinhaltet den Streckenzug des Theodor-Heuss-Ring in Kiel mit angrenzenden Zuflüssen (siehe Anlage 2.1). Für eine realitätsnahe Abbildung des Verkehrsablaufs wurde der Netzumgriff bestehend aus folgenden Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen (LSA) und Streckenelementen modelliert:

- Alte Lübecker Chaussee/ Hamburger Chaussee/ Sophienblatt/ Rondeel (LSA 13)
- Alte Lübecker Chaussee/ Stormarnstraße (LSA 15)
- Theodor-Heuss-Ring/ Hamburger Chaussee - Waldwiesenkreisel (LSA 60)
- Theodor-Heuss-Ring/ Alte Lübecker Chaussee/ B404 - Barkauer Kreuz (LSA 55)
- Theodor-Heuss-Ring/ Saarbrückenstraße (LSA 50)
- Theodor-Heuss-Ring/ Winterbecker Weg (LSA 185 und 140)
- Theodor-Heuss-Ring/ Bahnhofstraße/ Sörensenstraße (LSA 128)
- Theodor-Heuss-Ring/ Ostring/ B502 (LSA 518)
- B404/ Barkauer Straße (LSA 542)

Im Simulationsmodell werden sämtliche Verkehrsarten von Kfz über ÖV bis Rad/Fuß abgebildet. Es wird die heutige Bestandssituation mit den aktuellen Signalsteuerungen und der heutigen Verkehrsbelastung aufgebaut und der Verkehrsablauf anhand aktueller Zählraten (Verkehrsmengen und Geschwindigkeiten) für die relevante Spitzenstunde (Morgen- oder Nachmittagsspitze) kalibriert und validiert. Als Zählraten werden Detektordaten der Lichtsignalanlagen und/oder die Daten anderer automatischer Zählstellen oder auch manuelle Zählungen verwendet. Das kalibrierte Analysemodell bildet die Grundlage für die nachfolgenden Maßnahmensimulationen. Es wird ein Auswertesystem implementiert, um später zielgerichtete Wirkungsanalysen durchführen zu können. Ergebnis dieser Arbeitsschritte ist der modellierte und kalibrierte Bezugsfall - Szenario 0. Als Anlage 2.2 ist ein Netzausschnitt des PTV Vissim-Netzmodells beigefügt.

Die Simulation von Maßnahmen erfordert die Durchführung von Optimierungen z.B. bzgl. der LSA Steuerungen, da diese von den zugrunde gelegten Verkehrsstärken und Verflechtungen abhängen. Um die Optimierungsnotwendigkeit der Steuerungen zu erkennen und durchzuführen, werden jeweils die Ergebnisse aus der vorher durchgeführten Simulation genutzt. Der Erfolg der Optimierung wird durch einen Vorher/Nachher Vergleich dargestellt.

Die PTV Vissim Simulation erzeugt Einzelfahrzeugprofile, welche Grundlage für anschließende Emissions- und Immissionsberechnungen sind.

### **Szenario 1 - Verkehrsbeeinflussung und Zuflussregelung**

Mit dem Ziel der Verstärkung des Verkehrsablaufes im Bereich des Theodor-Heuss-Ring wird als eine Maßnahme eine intelligente Verkehrssteuerung und Beeinflussung des Kfz-Verkehrs erarbeitet. Grundlage für eine Maßnahmenauswahl ist eine Mängelanalyse des Verkehrsablaufes im Bestand. Der Verkehr auf den Theodor-Heuss-Ring ist im Abschnitt Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel durch die planfreie Knotenpunkteanbindung durch freie und unkoordinierte Verkehrsbeziehung geprägt.

Der Verkehr von der B404 wird in Fahrrichtung Westen planfrei als sogenannter "Überflieger" im Bereich des Barkauer Kreuz geführt und fädelt in den Theodor-Heuss-Ring auf den linken Fahrstreifen ein. Der Verflechtungsvorgang erfolgt unter Berücksichtigung der Vorrangregelung. Die Qualität des Verkehrsablaufes und die Leistungsfähigkeit des Verflechtungsbereiches ist hierbei von der Verkehrsbelastung auf dem linken Fahrstreifen des Theodor-Heuss-Ring (ausreichende Zeit- und Weglücken) und auf dem Überflieger abhängig. Eine Zuflussregelungsanlage (ZRA) soll unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrssituation die Zuflussmenge vom Überflieger unmittelbar am Einfädelfahrbahn über eine LSA regeln. Hierbei wird der Regelfall "1 Fahrzeug bei Grün" als Einzelfahrzeugfreigabe umgesetzt. Dadurch wird der Fahrzeugpulk in Einzelfahrzeuge aufgelöst und es fahren nur so viele Fahrzeuge vom Überflieger ein, dass ein stabiler Verkehrsfluss auf dem Theodor-Heuss-Ring aufrecht erhalten bleibt. Unter Berücksichtigung der Hinweise für ZRA (FGSV, H

ZRA, Ausgabe 2008) wird eine minimale Umlaufzeit von 5 s für die ZRA im Simulationsmodell gewählt. Dies entspricht einer maximalen Zuflussmenge von 720 Kfz/h. Zur Vermeidung von Rückstausituationen über das Barkauer Kreuz hinaus, erfolgt im Zufluss aus Süden bereits an der LSA 19 eine Vordosierung. Die Vordosierung wird durch eine Freigabezeitreduzierung der Zufahrt Süden mit einer Kapazitätsbeschränkung auf ca. 1.300 bis 1.450 Kfz/h erreicht. Für eine spätere Umsetzung und Inbetriebnahme kann davon ausgegangen werden, dass die Zuflussregelung nur bei Erfordernis - Gefahr Stop-an-Go-Verkehr auf dem Theodor-Heuss-Ring- aktiv ist und sonst deaktiviert ist.

In Fahrrichtung Osten erfolgt nach dem Barkauer Kreuz der Anschluss des Knotenpunkts Bahnhofstraße/ Sörensenstraße durch eine Fahrstreifenaddition eines durchgehenden Verflechtungsstreifens. In diesem Bereich ist der Verkehrsablauf durch einen hohen Fahrstreifenwechsel geprägt. Zur Zuflussdosierung in Fahrrichtung Osten erfolgt eine Fahrstreifenreduzierung der Rechtsabbieger vom Barkauer Kreuz sowie eine Freigabezeitreduzierung der LSA 55. Zum anderen wird die Freigabezeit an der LSA 128 zugunsten der Zufahrt West für das Signalprogramm Abend umverteilt. Abbildung 13 zeigt die Maßnahmenmodellierung als Ausschnitt des PTV-Vissim Netzes.

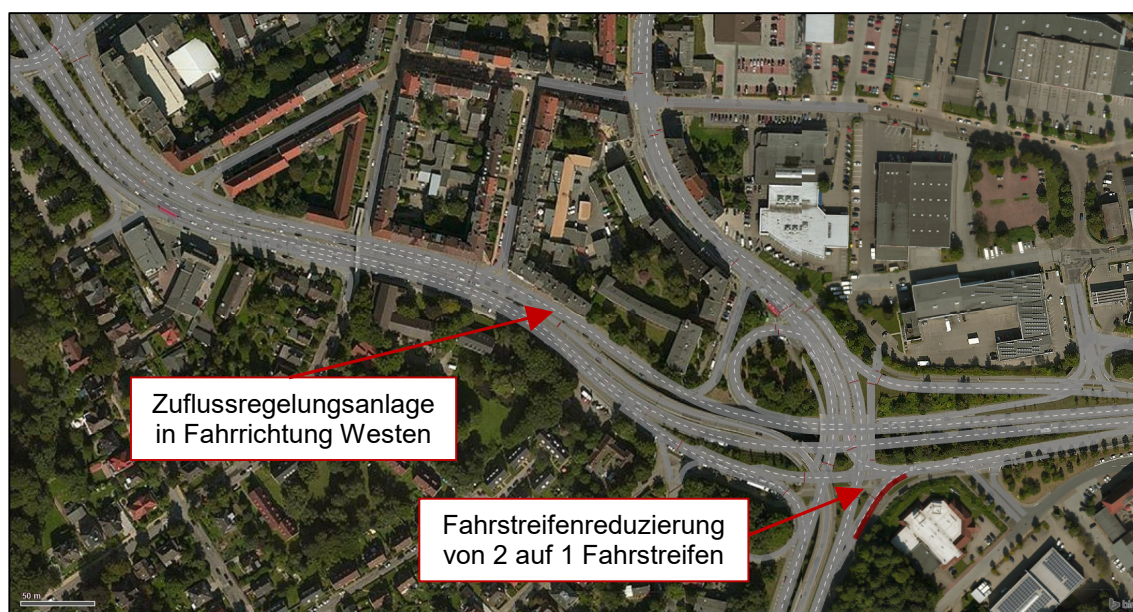


Abbildung 13: Netzausschnitt PTV-Vissim Szenario 1 Abschnitt Barkauer Kreuz - Waldwiesenkreisel

## Szenario 2 - Tempolimit und Sperrung Ein-/ Ausfahrten

Aufbauend auf den gewählten Maßnahmen des Szenarios 1 - Zuflussregelung erfolgt eine Weiterentwicklung von Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsablaufes auf dem Theodor-Heuss-Ring.

- Einrichtung Tempolimit von 50 Km/h im Bereich Anschlussstelle An der Kleinbahn bis Anschluss Saarbrücker Straße in beiden Fahrtrichtungen mit dem Ziel der Harmonisierung des Verkehrsablaufes.
- Sperrung von Ein- und Ausfahrten auf den Theodor-Heuss-Ring im Abschnitt Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel ohne oder mit zu kurzen Ein- und Ausfädelstreifen. Dies umfasst folgend Straßen:
  - Ein-/ und Ausfahrt Dithmarscher Straße
  - Ein-/ und Ausfahrt Krusenrotter Weg Nord
  - Ausfahrt Krusenrotter Weg Süd

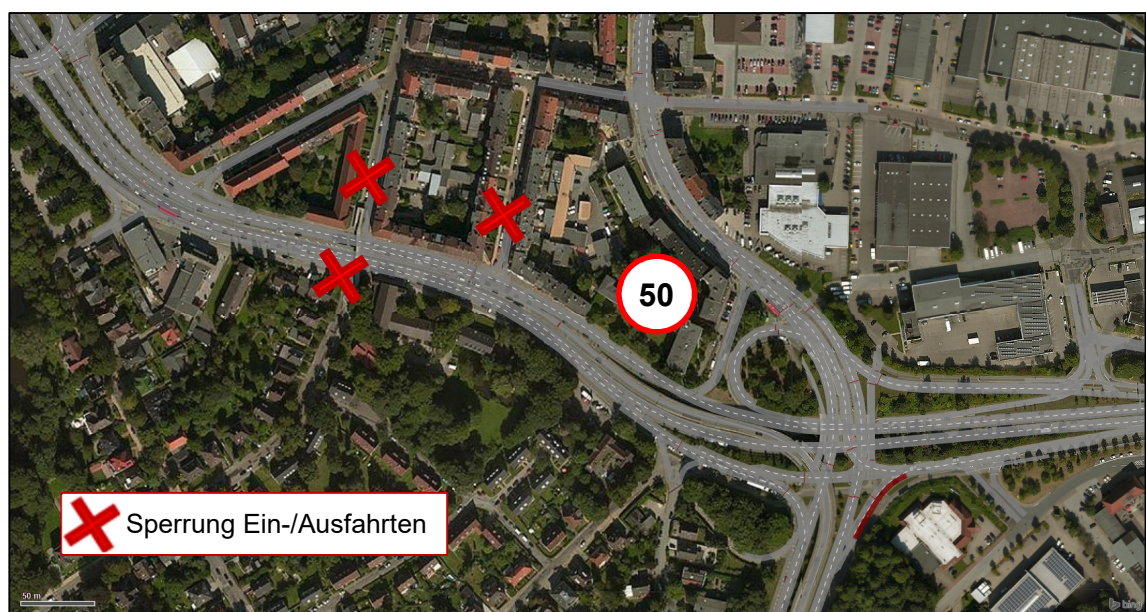


Abbildung 14: Netzausschnitt PTV-Vissim Szenario 2 Abschnitt Barkauer Kreuz - Waldwiesenkreisel

### Szenario 3 - Sperrung Theodor-Heuss-Ring für Diesel-Kfz in beiden Richtungen

Als Planfall Szenario 3 wird ein Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf dem Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen simuliert. Im Ergebnis der makroskopischen Bewertung zeigt sich eine Verkehrsverlagerung als Zunahme der Verkehrsbelastung auf den Streckenzug Alte Lübecker Chaussee > Rondeel > Hamburger Chaussee für beide Fahrrichtungen. Die veränderte Verkehrsnachfrage erfordert an folgenden Knotenpunkten eine Anpassung der Signalprogramme und teilweise Fahrstreifensortierung.

- Knotenpunkt Waldwiesenkreisel (LSA 66)
  - Neuplanung des LSA-Signalprogrammablaufes auf Zufahrtssignalisierung mit Freigabe im Uhrzeigersinn.
  - Wesentliches Ziel ist eine ständige Rückstaufreiheit des gesamten Kreisels bei gestärkten Übereckbeziehungen im Verkehrsaufkommen.

- Zusätzliches RA-Signal Zufahrt Nord um dem Rechtsabbiegeaufkommen gerecht zu werden.
- Knotenpunkt Barkauer Kreuz (LSA 55)
  - Freigabezeitumverteilung innerhalb der bestehenden Programmstruktur.
  - Während der Abendspitze ist die Aufgabe der progressiven Schaltung des Verkehrsstromes in stadtauswärtiger Richtung aus Norden erforderlich. Zugunsten der Leistungsfähigkeit rückt der Verkehr zunächst an das rote Folgesignal vor, sodass deutlich mehr Verkehr abwickeln werden kann. Dies geht zulasten der Verkehrsqualität, weil ein Halt mehr erforderlich ist. In der Gesamtreisezeit ist keine Veränderung/ Verschlechterung.
- Knotenpunkt Rondeel (LSA 13)
  - Freigabezeitumverteilung zugunsten eines ungesicherten Nachlaufes für die Linksabbieger aus Richtung Alte Lübecker Chaussee.
  - Erhöhung der Umlaufzeit auf 90 s und damit Aufgabe der Koordinierung zu den Nachbar-LSA.
  - Umgestaltung der Zufahrt Hamburger Chaussee mit drei Fahrstreifen nach links+gerade, gerade, rechts. Der Links-+Geradefahrstreifen erfordert eine Zufahrtssignalisierung. Die Separierung des Rechtsabbiegers ermöglicht zusätzliche Freigabezeiten während der Nachlauf der Linksabbieger Zufahrt Alte Lübecker Chaussee. Zusätzlich können Schwankungen im Tagesverkehr der kompletten Zufahrt Süd deutlich besser aufgenommen werden.
- Knotenpunkt Alte Lübecker Chaussee/Stormarnstraße (LSA 15)
  - Freigabezeitanpassung zugunsten Hauptrichtung Alte Lübecker Chaussee

Für eine spätere Umsetzung wird ein umweltsensitives Verkehrsmanagement empfohlen. In Abhängigkeit der erfassten und ggf. prognostizierten Umwelt- und Verkehrssituation können verkehrslenkende Maßnahmen aktiviert werden. Die Verkehrsverlagerung wird durch dynamische Verkehrsinformationen und angepasste LSA-Steuerungen umgesetzt. Die Verstetigung des Verkehrsablaufs in sensiblen Bereichen kann erzielt werden. Eine Wirkungskontrolle ist erforderlich.

#### **Szenario 4 - Reduzierung Kapazität auf dem THR und Einrichtung einer Busspur - Planfall 05**

Mit dem Simulationsszenario 4 wird die Kapazitätseinschränkung auf dem THR für den fließenden Kfz-Verkehr beidseitig (symmetrisch) von 3 auf 2 Fahrstreifen im Abschnitt zwischen Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel mit einer beidseitigen Einrichtung einer Busspur gemäß makroskopischer Betrachtung des Planfalls 05 betrachtet. Hierbei erfolgt im ersten Schritt folgende Gestaltungsvariante für die Einrichtung der Busspur (siehe Abbildung 15):

- Einrichtung einer Busspur in beiden Fahrrichtungen im Bereich Barkauer Kreuz bis Waldwiesenkreisel
- In Fahrrichtung Westen:
  - Beginn der Busspur unmittelbar nach dem Barkauer Kreuz.
  - Fahrstreifenaddition aus dem Theodor-Heus-Ring und dem Überflieger B404 mit 2-Streifigkeit für den Kfz-Verkehr
  - Neusortierung der Fahrstreifen Knotenzufahrt Ost Waldwiesenkreisel -Ende Busspur nach Waldwiesenkreisel Rampenabfahrt Richtung Theodor-Heuss-Ring
- In Fahrrichtung Osten:
  - Beginn der Busspur im Bereich der Rampenauffahrt Waldwiesenkreisel
  - Neusortierung der Fahrstreifen Knotenzufahrt West Waldwiesenkreisel,
  - Fahrstreifenaddition Theodor-Heus-Ring und Rampenabfahrt vom Waldwiesenkreisel mit 2-Streifigkeit für den Kfz-Verkehr
  - Ende Busspur nach Barkauer Kreuz.

Für den Waldwiesenkreisel ist eine Anpassung der Signalprogramme erforderlich:

- Neuplanung des LSA-Signalprogrammablaufes auf Zufahrtssignalisierung mit Freigabe im Uhrzeigersinn.
- Wesentliches Ziel ist eine ständige Rückstaufreiheit des gesamten Kreisels bei gestärkten Übereckbeziehungen im Verkehrsaufkommen.
- Zusätzliches RA-Signal Zufahrt Nord um dem Rechtsabbiegeaufkommen gerecht zu werden.

Für den Knotenpunkt Barkauer Kreuz ist eine Freigabezeitumverteilung zugunsten der Zufahrt West erforderlich, um der Verkehrszunahme aus dem Hornheimer Weg gerecht zu werden.

Zusätzlich werden die erarbeiteten Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsablaufes aus dem Szenario 2 (Tempolimit und Sperrung der Ein-/Ausfahrten) übernommen. Eine Zuflussdosierung gemäß Szenario 1 ist nicht erforderlich, da der Verkehr in Fahrrichtung Westen als Fahrstreifenaddition geführt wird.





Abbildung 15: Netzausschnitt PTV-Vissim Szenario 4 Abschnitt Barkauer Kreuz - Waldwiesenkreisel

### 3.2.2 Verkehrliche Wirkungen

#### Grundlagen der Auswertungen und Ergebnisdarstellung

Grundlage der Auswertung ist ein für alle Simulationen gleich gewähltes Auswertungsintervall von einer Stunde mit Spitzenstundenbelastung. Während der simulationstechnisch bedingten Einlaufzeit wird eine für die Netzgröße und Verkehrssituation angemessene Verkehrseinspeisung zur Befüllung des Netzes durchgeführt.

Wesentliche Verkehrskenngröße zur Beschreibung des Verkehrsablaufes auf dem Theodor-Heuss-Ring ist die gefahrene Geschwindigkeit. Für die Ergebnisdarstellung eignet sich die Abbildung der resultierenden mittleren Geschwindigkeiten für einen Streckenabschnitt nach einem Farbschema. Die linienhafte Auswertung und Darstellung der gefahrenen mittleren Geschwindigkeit ermöglicht eine Ableitung der Qualität des Verkehrsablaufes auf der Strecke, in den Verflechtungsbereichen und an den Knotenpunkten. Für eine Verdeutlichung von Defiziten im Verkehrsablauf wird das Verhältnis zwischen der mittleren gemessenen Geschwindigkeit zur zulässigen Geschwindigkeit als relative Geschwindigkeitsabweichung herangezogen. Diese Auswertung lässt Rückschlüsse auf die Qualität des Verkehrsablaufes zu. Für das Auswertungsintervall werden hierfür alle Fahrzeuge in die Auswertung einbezogen.

#### Szenario 0 - Bezugsfall

Im Ergebnis der Simulation zeigt sich, dass der Verflechtungsvorgang zwischen dem Fahrverkehr von dem Überflieger der B404 mit dem Fahrverkehr Theodor-Heuss-Ring in Richtung Westen überlastet ist. Hierbei ist die Verkehrsnachfrage auf der

Hauptfahrbahn des Theodor-Heuss-Ring und auf dem Einfädelungsstreifen so hoch, dass sich für den einfädelnden Verkehr keine ausreichenden Lücken zum Einfädeln bieten. Es kommt immer wieder zu Stop-and-Go Situationen, indem der Fahrverkehr auf der Hauptfahrbahn anhalten muss, damit von links auf den Theodor-Heuss-Ring aufgefahren werden kann. Abbildung 16 dokumentiert den Verkehrsablauf als Szenenausschnitt zu der Verkehrssimulation. In den Anlagen 2.3 bis 2.6 sind die Auswertungen zur mittleren Geschwindigkeit und relativen Geschwindigkeitsabweichungen für das Szenario 0 - Bezugsfall aufbereitet. Hierbei zeigt sich, dass die mittlere Geschwindigkeit während der morgendlichen Spitzenstunde auf ca. 20 km/h im unmittelbaren Verflechtungsbereich sinkt. In Folge stellt sich eine geringere Durchlassfähigkeit in beiden Zuflussrichtungen ein, sodass es zu Rückstauungen und zähflüssigen Verkehr bis zum Ostring kommt. Die relative Geschwindigkeitsabweichung beträgt in diesen Abschnitten zwischen 40 % und 80 %, was einer bis zu 5-fachen Reisezeit im Vergleich zu einem unbehinderten Ablauf entspricht. Während der abendlichen Spitzenstunde ist die Verkehrsbelastung auf dem Theodor-Heuss-Ring und dem Überflieger geringer als am Morgen. Dennoch kommt es im Verflechtungsbereich immer wieder zu Stop-and-Go Situationen. Der Verflechtungsbereich ist überlastet, der Rückstau im Zufluss geringer als am Morgen ausgeprägt.

In Fahrriichtung Osten zeigt sich während der Abendspitzenstunde in den Verflechtungsbereichen vor und nach dem Barkauer Kreuz ein hoch ausgelasteter Verkehrsablauf. Das Geschwindigkeitsniveau sinkt auf ca. 40 km/h bis 50 km/h - der Verkehrsablauf ist zähflüssig, jedoch ohne dass permanente Stop-and-Go Situationen oder Rückstaubildungen zu beobachten sind.



Abbildung 16: Simulationsdarstellung Bezugsfall Verflechtungsbereich THR Fahrriichtung Westen (Barkauer Kreuz im Hintergrund)

## Szenario 1 - Verkehrsbeeinflussung und Zuflussregelung

Mit der Einrichtung der Zuflussregelungsanlage (ZRA) zeigt sich, dass der Verkehrsablauf auf dem Theodor-Heuss-Ring in Fahrrichtung Westen verstetigt werden kann. Wie aus den Anlagen 2.7 bis 2.10 (mittlere Geschwindigkeit und relative Geschwindigkeitsabweichung für das Szenario 1) zu entnehmen, zeigt sich auf dem Theodor-Heuss-Ring ein konstanteres Geschwindigkeitsniveau nahe der zulässigen Geschwindigkeit. Im Vergleich zum Bestand steigt die mittlere Geschwindigkeit im unmittelbaren Bereich des Verflechtungsbereiches für den maßgebenden Fall am Morgen von ca. 20 km/h auf ca. 40 km/h. Dies entspricht einer Verdopplung der mittleren Geschwindigkeit. Eine unbehinderte und freie Fahrt auf der Hauptfahrbahn lässt sich während der Hauptverkehrszeit nicht erzielen. Wie unter Punkt 3.2.1 erläutert, werden Einzelfahrzeuge zum Einfädeln auf den Theodor-Heuss-Ring gelassen. Neben der Reduzierung der einfahrenden Verkehrsmenge führt vor allem die Pulktrennung zu einem leistungsfähigen Einfädelvorgang. Die Durchlasskapazität der ZRA (ca. 720 Kfz/h) kann das vorhandene Verkehrsaufkommen nicht vollständig aufnehmen. Daher erfolgt bereits an der LSA 19 eine Vordosierung, sodass es zu keiner Überstauung aus Zufahrt Süden Barkauer Kreuz kommt.

In Fahrrichtung Osten wirken die gewählten Maßnahmen positiv auf das Geschwindigkeitsniveau im Zuge des Theodor-Heuss-Ring. Die mittlere Geschwindigkeit steigt während der abendlichen Spitzenstunde im Verflechtungsbereich nach dem Barkauer Kreuz von ca. 46 km/h im Bestand auf 58 km/h (+ 26 %) im Szenario 1.

Das Szenario 1 beinhaltet an den Lichtsignalanlagen Waldwiesenkreisel und Rondel keine Änderungen, weshalb im Vergleich zum Bestand auch keine Veränderungen im Verkehrsablauf zu beobachten sind.



Abbildung 17: Simulationsdarstellung Szenario 1 Verflechtungsbereich THR Fahrrichtung Westen (Barkauer Kreuz im Hintergrund)

## Szenario 2 - Tempolimit und Sperrung Ein-/ Ausfahrten

Mit der Einrichtung des Tempolimits von 50 km/h geht eine Verkehrsabnahme von ca. 3.000 Kfz/24h auf dem Theodor-Heuss-Ring einher. Im Ergebnis der Simulation zeigt sich im gesamten Streckenlauf eine deutliche Harmonisierung des Geschwindigkeitsniveaus. Aus den Anlagen 2.11 bis 2.14 (mittlere Geschwindigkeit und relative Geschwindigkeitsabweichung für das Szenario 2) ist erkennbar, dass sich in beiden Fahrrichtungen ein Geschwindigkeitsniveau nahe der zulässigen Geschwindigkeit einstellt.

Auf dem Theodor-Heuss-Ring stellen sich im unmittelbaren Verflechtungsbereich Fahrrichtung West vergleichbare mittlere Geschwindigkeiten wie im Szenario 1 von ca. 40 km/h ein. In Hinblick auf die zulässige Höchstgeschwindigkeit sind deutlich geringere relative Geschwindigkeitsabweichungen abzuleiten. Der Verkehr wird linienhaft verstetigt, hohe Geschwindigkeitsänderungen und damit häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge reduziert. Die verkehrlichen Wechselwirkungen der ZRA und die erforderliche Vordosierung an der LSA 19 sind vergleichbar mit den Ergebnissen und Aussagen wie im Szenario 1. Während der abendlichen Hauptverkehrszeit sind die Verkehrsbelastungen auf dem Theodor-Heuss-Ring und der Einfädelverkehr geringer, sodass angeregt wird, dass für die Notwendigkeit der Aktivierung der ZRA eine vertiefende Betrachtung erfolgen sollte.

In Fahrrichtung Osten wirkt sich das Tempolimit positiv auf das Geschwindigkeitsniveau im Zuge des Theodor-Heuss-Rings aus. Die mittlere Geschwindigkeit beträgt während der maßgebenden abendlichen Spitzenstunde im Verflechtungsbereich nach dem Barkauer Kreuz ca. 49 km/h.

Die Wirkung der Sperrung der Ein- und Ausfahrten lässt sich nicht explizit quantifizieren, weil eine Maßnahmenkombination im Szenario 2 vorliegt. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Abbiegen und Einbiegen auf den Theodor-Heuss-Ring bei hoch ausgelasteten Zustand unmittelbare Auswirkungen auf den Folgeverkehr hat. Insbesondere dann, wenn der parallele Rad- und Fußgängerverkehr beim Abbiegen berücksichtigt werden muss. Es können zusätzliche Brems- und Beschleunigungsvorgänge oder Fahrstreifenwechsel erforderlich sein. Werden die Ergebnisse aus dem Szenario 1 (Ein- und Ausfahrten sind nicht gesperrt) betrachtet, zeigt sich, wie in Abbildung 14 dargestellt, im Bereich der Ausfahrten Geschwindigkeitsreduzierungen. Diese sind unter Berücksichtigung der notwendigen Abbiegegeschwindigkeit zu interpretieren.

Mit der Sperrung der Ein- und Ausfahrten kann von einer Verbesserung des Verkehrsablaufs für den Radverkehr in Seitenlage ausgegangen werden, wenn Verkehrskonflikte mit Ein- und Abbiegeverkehre reduziert werden.

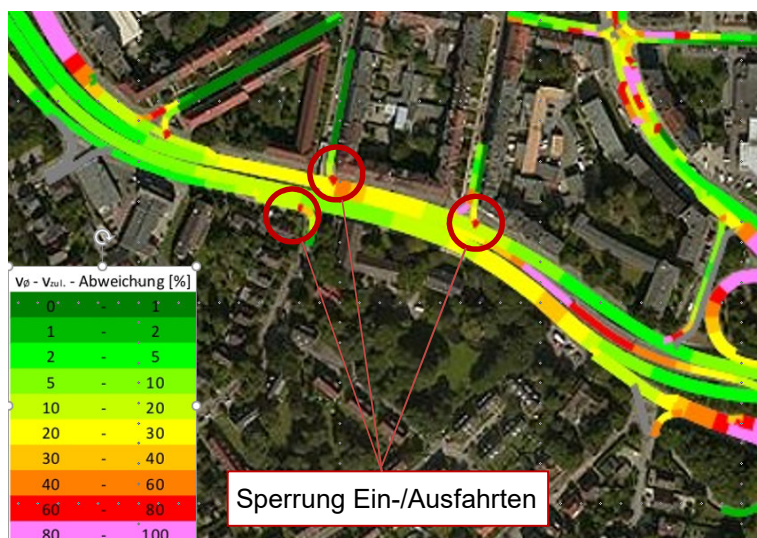


Abbildung 18: Ergebnisdarstellung relative Geschwindigkeit Szenario 1 Morgen, Ein- und Ausfahrten Bereich THR

### Szenario 3 - Sperrung für Dieselfahrzeuge unter Euro 6

Mit dem Einrichten eines Durchfahrtsverbots für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf dem Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen ist eine Verkehrsabnahme auf dem Streckenzug von ca. 20.000 Kfz/24h zu verzeichnen. Die deutlich reduzierte Verkehrsnachfrage führt im Ergebnis der Simulation zu einem ausreichenden und leistungsfähigen Einfädelvorgang im Verflechtungsbereich Fahrtrichtung Westen (Anlagen 2.15 bis 2.18 mittlere Geschwindigkeit und relative Geschwindigkeitsabweichung für das Szenario 3). Das Geschwindigkeitsniveau ist sowohl am Morgen, als auch am Abend, auf einem durchgängig hohen Niveau von ca. 50 km/h (V<sub>zul</sub> 70 km/h). Der Verkehrsablauf ist frei und in einem stabilen Bereich. Eine Zuflussregelung ist nicht erforderlich.

Auf den Streckenzug Alte Lübecker Chaussee > Rondeel > Hamburger Chaussee ist eine Verkehrszunahme von ca. 8.000 Kfz/24h zu verzeichnen. Grundsätzlich zeigt sich in diesem Streckenabschnitt eine hohe Auslastung, die Knotenpunkte werden nachfolgend näher betrachtet.

An dem Knotenpunkt Waldwiesenkreisel zeigt sich am Morgen eine hohe Auslastung mit zeitweisen Rückstau über den Rechtsabbiegefahrstreifen in der Zufahrt West. Während der Simulation ist eine maximale Rückstaulänge bis Ende Rechtsabbiegefahrstreifen zu beobachten. Während der Abendspitzenstunde ist die Zufahrt Nord durch das erhöhte Rechtsabbiegeraukommen hoch ausgelastet (siehe Abbildung 19). Mittels Überplanung der LSA-Programme und zusätzlicher Freigabezeiten (Einrichtung zusätzliches RA-Signal) kann die Kapazität erhöht werden. Aufgrund der hohen Auslastung kommt es immer wieder zu Rückstauerscheinungen aber zu keinem kontinuierlichen Stauaufbau. Insgesamt zeigt sich eine hohe Auslastung in alle Zufahrten, was sich auch auf die Stetigkeit des Verkehrsablaufs unter Berücksichtigung

sichtigung der progressiven Schaltung mehrerer Signalquerschnitte im Waldwiesenkreisel auswirkt. Vom Waldwiesenkreisel in Fahrtrichtung Rondeel erfolgt ca. 60 m nach dem Knoten eine Verflechtung von zwei auf einen Fahrstreifen. Beim Verflechtungsvorgang kann es temporär zu Rückstauerscheinungen kommen. Die höchste Auslastung zeigt sich am Morgen, eine Behinderung nachfolgender Verkehre ist nicht festzustellen.

An dem Knotenpunkt Rondeel nimmt die Übereck-Beziehung Alte Lübecker Chaussee / Hamburger Chaussee in beiden Beziehungen deutlich zu. Während am Morgen das Rechtsabbiegeaufkommen in der Zufahrt Hamburger Chaussee für die Verkehrsabwicklung maßgebend ist, ist dies am Abend das Linksabbiegen von der Zufahrt Alte Lübecker Chaussee. Im Ergebnis der Simulation kann es am Morgen in der Zufahrt Hamburger Chaussee zu Rückstau bis über die Parkplatzeinfahrt kommen. Am Abend zeigt sich die Zufahrt Königsweg immer wieder rückstaugefährdet, indem der Rechtsabbieger den separaten Abbiegestreifen überstaut (siehe Abbildung 20).

Im Bereich Barkauer Kreuz wird die Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes am Abend durch die Nordzufahrt bestimmt. Mit den unter 3.2.1 beschriebenen Maßnahmen zur Signalprogrammänderung kann die Leistungsfähigkeit der Zufahrt Nord deutlich erhöht werden. Der Stauraum kann effektiver genutzt werden, hat aber für die ersten Fahrzeuge im Pulk einen zusätzlichen Halt zur Folge. Der gesamte Streckenzug Alte Lübecker Chaussee ist während der abendlichen Spitzenstunde in stadtauswärtiger Richtung hoch ausgelastet. Das Geschwindigkeitsniveau sinkt erkennbar und es sind Rückstausituationen von dem Knotenpunkt Stormarnstraße bis zur Zufahrt Aldi zu beobachten.

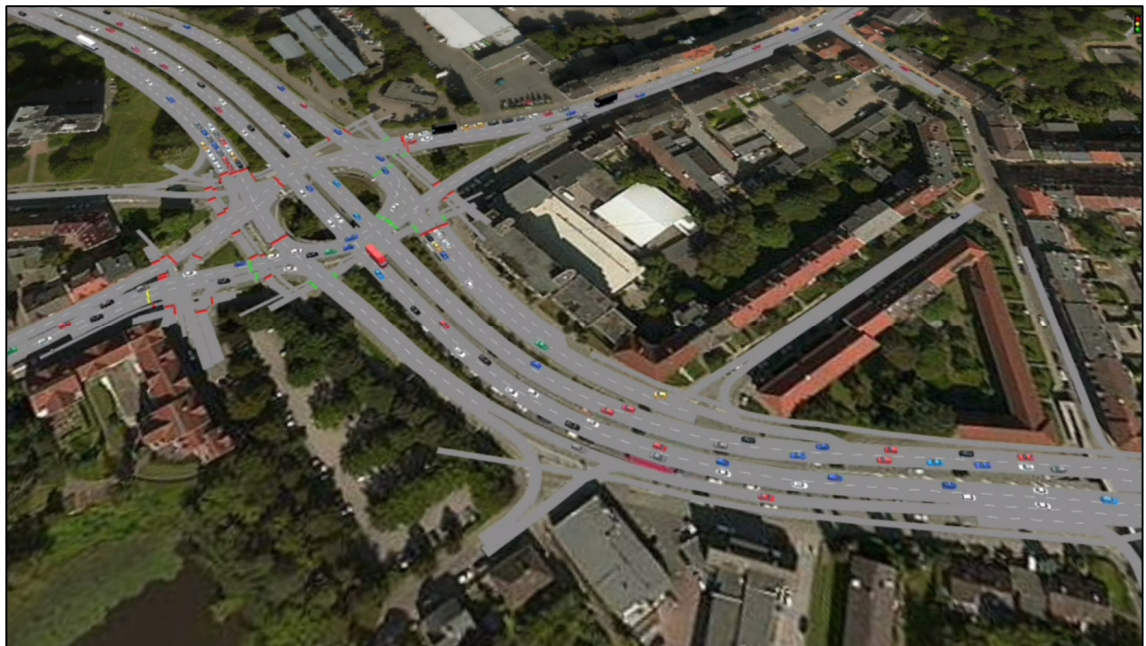


Abbildung 19: Simulationsdarstellung Szenario 3 Waldwiesenkreisel

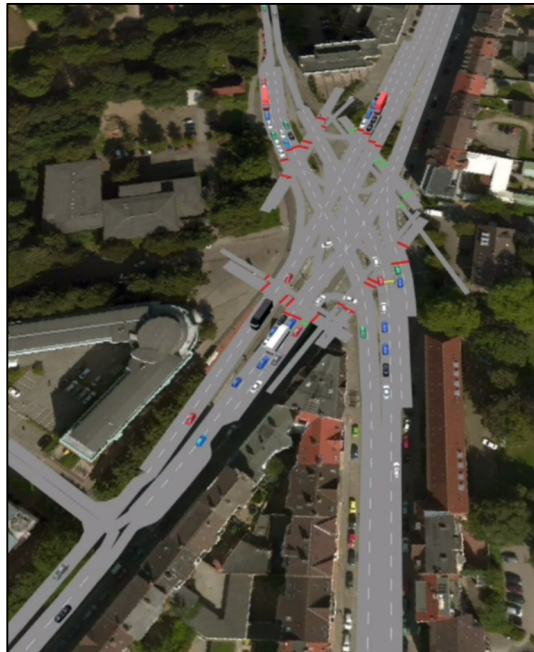


Abbildung 20: Simulationsdarstellung Szenario 3 Rondeel

#### Szenario 4 - Reduzierung Kapazität auf dem THR und Einrichtung einer Busspur

Infolge der Reduzierung der Kapazität auf dem Theodor-Heuss-Ring ist eine deutliche Verkehrsabnahme auf dem Streckenzug zu verzeichnen. In Fahrtrichtung Westen kann das Verkehrsaufkommen in beiden betrachtenden Zeitbereichen im Bereich der Fahrstreifenreduzierung vor dem Beginn der Busspur leistungsfähig abgewickelt werden. Im weiteren Verlauf ist die Fahrstreifenaddition mit dem Überflieger B404 durch einen freien und stabilen Verkehrsablauf geprägt. Die mittlere Geschwindigkeit beträgt in diesem Abschnitt ca. 48 km/h und dokumentiert die gute Qualität des Verkehrsablaufs. In der Gegenrichtung kann der Fahrverkehr Richtung Osten vor der Fahrstreifenreduzierung auf dem Theodor-Heuss-Ring nicht leistungsfähig abgewickelt werden. Die Kapazität der Fahrstreifenreduzierung von zwei auf einen Fahrstreifen von ca. 1.800 Kfz/h ist für die Verkehrsnachfrage in den Spitzenstunden nicht ausreichend. Der Rückstau baut sich über die Simulation kontinuierlich auf und die mittlere Geschwindigkeit beträgt nur ca. 20 km/h.

Am Knotenpunkt Waldwiesenkreisel zeigt sich am Morgen eine hohe Auslastung in der Zufahrt West. Während der Abendspitzenstunde ist die Zufahrt Nord durch das erhöhte Rechtsabbiegeraufkommen hoch ausgelastet (siehe Abbildung 21). Mittels Überplanung der LSA-Programme und zusätzlicher Freigabezeiten (Einrichtung zusätzliches RA-Signal) kann die Kapazität erhöht werden. Aufgrund der hohen Auslastung kommt es immer wieder zu Rückstauerscheinungen aber zu keinem kontinuierlichen Stauaufbau. Die Verflechtung von zwei auf einen Fahrstreifen vom Waldwiesenkreisel in Fahrtrichtung Rondeel ist aufgrund der 1-Streifigkeit in der Zufahrt West leistungskritisch.

Der Verkehrsablauf auf den Streckenzug Alte Lübecker Chaussee / Hamburger Chaussee wird durch die Verkehrszunahme von ca. 2.600 Kfz/24h im Vergleich zur Bestandssituation nicht wesentlich verschlechtert.

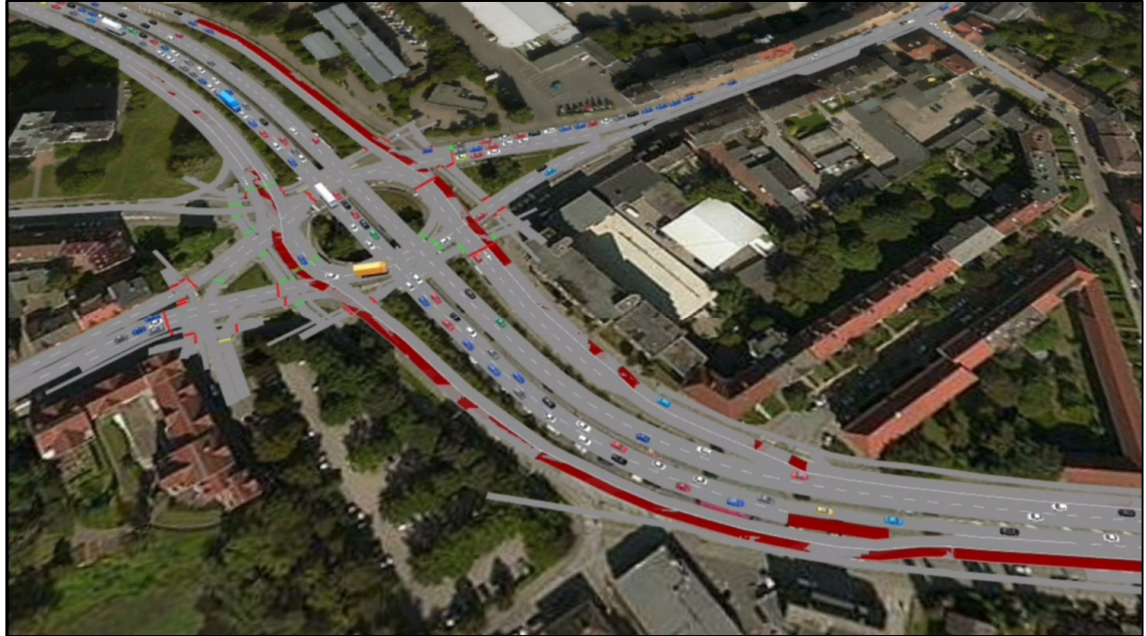


Abbildung 21: Simulationsdarstellung Szenario 4 Waldwiesenkreisel

Als Zusammenstellung der Ergebnisse aller durchgeführten Simulationen erfolgt in Anlage 2.23 eine Aufbereitung der mittleren Geschwindigkeiten im Streckenabschnitt Theodor-Heuss-Ring.

### **Verkehrssicherheit und Einfluss auf die ÖPNV-Beschleunigung**

Im Rahmen der mikroskopischen Verkehrssimulation werden Aussagen zum Verkehrsablauf getroffen. Eine direkte Ableitung zur Wirkung und Beeinflussung auf die Verkehrssicherheit kann hiermit nicht erfolgen. Ein erhöhtes Aufkommen im Kfz-Verkehr kann sich hierbei negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken, z. B. Rückstau in Fußgängerfurten oder spätes Räumen bedingt verträglicher Verkehrsströme.

Mit der Zunahme des Verkehrsaufkommens und dem Erreichen der Leistungsfähigkeitsgrenze der Verkehrslagen sind negative Auswirkungen auf die Qualität der ÖPNV-Beschleunigung zu erwarten. Die Behinderungen im Streckenverlauf können steigen, die verkehrstechnischen Eingriffe zur Beschleunigung des ÖPNV sind am Knotenpunkt auf die veränderten Verkehrsverhältnisse zu prüfen, z. B. erforderliche Vorlaufzeit zum behinderungsfreien Passieren der Haltlinien.



### 3.2.3 Auswirkungen auf die verkehrlichen Emissionen

Die Simulationen des Verkehrs auf dem Teilnetz um den Theodor-Heuss-Ring in der Morgenspitze und in der Abendspitze haben neben den oben beschriebenen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf auch Auswirkungen auf die Emission von Schadstoffen, insbesondere von  $\text{NO}_x$ . Hier sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die  $\text{NO}_x$ -Reduktion ist sich auf die Minderung der verkehrlichen Emissionen bezieht. Unterschiede in den Szenarien resultieren aus der Anzahl Fahrzeuge, die das Teilnetz passieren, und aus dem Verkehrsablauf, d.h.

- ▶ Der Geschwindigkeiten und des Geschwindigkeitsverlaufs
- ▶ Der Anzahl und Höhe der Beschleunigungen
- ▶ Der eventuellen Standzeiten vor LSA oder Verflechtungsbereichen

Zur Bestimmung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus den Simulationsläufen wird die Software Enviver © eingesetzt, die als Zusatzmodul in PTV Vissim verfügbar ist. Bilanziert wird dabei einmal für eine Teilfläche des Microsimulationsgebietes welches durch Theodor-Heuss-Ring, Alte Lübecker Chaussee und Hamburger Chaussee begrenzt ist (vgl. Abbildung 22) sowie für das Straßensegmentstück des Theodor-Heuss-Rings an dem die Messstation steht.

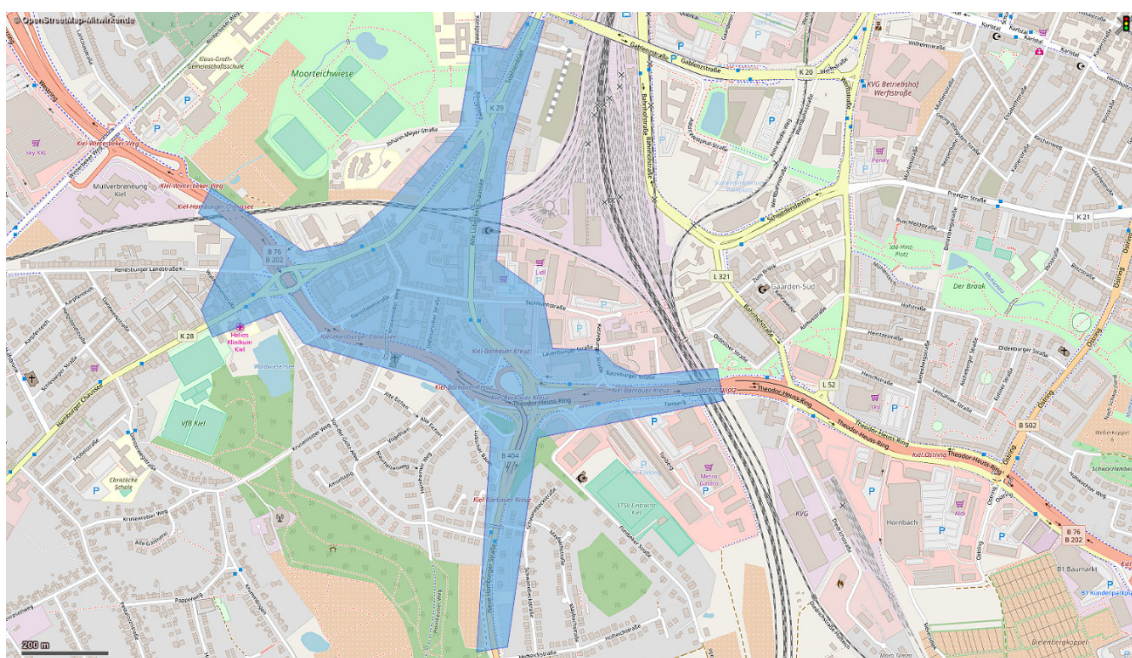


Abbildung 22: Enviver-Bilanzfläche

Die Reduktionspotenziale der  $\text{NO}_x$ -Emissionen in allen vier untersuchten Szenarien für diese Fläche insgesamt sind in der Tabelle 25 zusammengefasst. Damit wird deutlich, dass bezogen auf diese Teilfläche in allen Szenarien eine Reduzierung gegenüber dem Bestand erreicht werden kann.

	Szenario	Morgenspitze	Abendspitze
S1	Zuflussregelungsanlage (ZRA)	-26,2%	-12,7%
S2	ZRA + Tempo 50 + Sperrung Zufahrten	-41,4%	-31,6%
S3	Sperrung für Diesel-Kfz schlechter Euro-6	-46,9%	-39,5%
S4	Reduzierung Kapazität und Einrichtung einer Busspur (entsprechend PF 05-2)	-42,0%	-35,3%

Tabelle 25: Reduktionspotenzial NO<sub>x</sub>-Emissionen Fläche

Für diese Bilanzfläche sind in der nachfolgenden Abbildung 23 die NO<sub>x</sub>-Reduktionen gegenüber dem Bestand je Straßenabschnitt beispielhaft für das Simulationsszenario S3 (Sperrung für Diesel-Kfz schlechter Euro 6 in beiden Fahrrichtungen auf dem THR) für die Morgenspitze dargestellt. Grüne Balken stehen dabei für eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen und rote für Zunahmen.

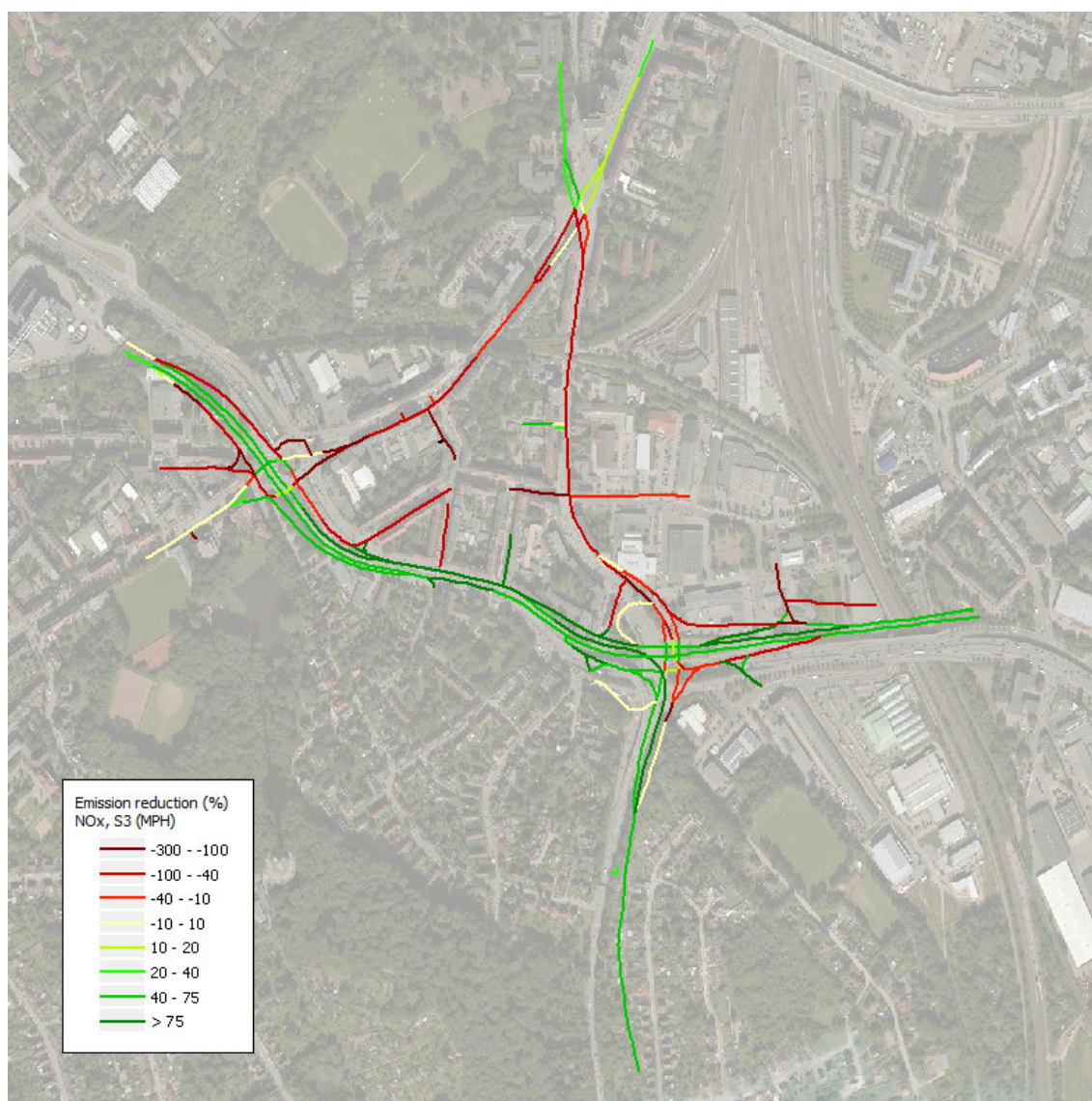


Abbildung 23: Reduktionspotenzial NO<sub>x</sub>-Emissionen für S3, Morgenspitze

In der Tabelle 26 sind die Reduktionspotenziale der NO<sub>x</sub>-Emissionen für das ca. 100 Meter lange Straßensegmentstück des Theodor-Heuss-Rings in allen vier untersuchten Szenarien für die morgendliche und abendliche Spitzenszene dargestellt.

	Szenario	Morgenspitze	Abendspitze
S1	Zuflussregelungsanlage (ZRA)	-27,1%	-29,1%
S2	ZRA + Tempo 50 + Sperrung Zufahrten	-51,8%	-49,2%
S3	Sperrung für Diesel-Kfz schlechter Euro-6	-78,0%	-77,0%
S4	Reduzierung Kapazität und Einrichtung einer Busspur (entsprechend PF 05-2)	-60,7%	-60,9%

Tabelle 26: Reduktionspotenzial NO<sub>x</sub>-Emissionen direkt am Theodor-Heuss-Ring

### 3.3 Zusammenfassung der Wirkungen

Die Ergebnisse der Wirkungsermittlung der einzelnen Planfälle der makroskopischen Modellierung und der Szenarien der mikroskopischen Simulation werden in diesem Kapitel zusammengefasst. Dies betrifft insbesondere die Zielerreichung Unterschreitung der Immissionsgrenzwerte am THR. Diese Wirkungen bilden damit die Grundlage für die Entwicklung von Umsetzungsvorschlägen im nächsten Kapitel.

Gemäß der Vorgehensweise bei der Ermittlung der Auswirkungen der Maßnahmen, Planfälle und Szenarien wird in der folgenden Zusammenfassung unterschieden zwischen den 4 Komponenten Verkehrsmengen, Verkehrsablauf, Emissionen und Immissionen.

#### 3.3.1 Verkehrsmengen am THR

Die Verkehrsmengen am Theodor-Heuss-Ring sind eine wesentliche Eingangsgröße und der Hauptauslöser für das Luftqualitätsproblem an diesem Netzabschnitt in der Landeshauptstadt Kiel. Im Referenzfall befahren an einem durchschnittlichen Werktag 100.700 Fahrzeuge den Theodor-Heuss-Ring zwischen Barkauer Kreuz und Waldwiesenkreisel.

Die Verkehrsmengen werden im Wesentlichen durch die verkehrsplanerischen Maßnahmen verändert, die zu einer räumlichen oder modalen Verlagerung der Verkehrsnachfrage führen. Das Ergebnis ist in der Abbildung 24 dargestellt:

Für die meisten Planfälle bleibt die Belastung nahe den 100.000 Fahrzeugen. In den MaaS-Szenarien nimmt die Belastung sogar noch zu.

Wirkung zeigen hier die Planfälle 01-04 der Sperrung des THR für Diesel-Pkw bzw. Diesel-Kfz schlechter als Euro 6, die vollständige Sperrung des THR im Planfall 06 und die Reduzierung der Kapazität mit Einrichtung der Busspuren im Planfall 05-2.

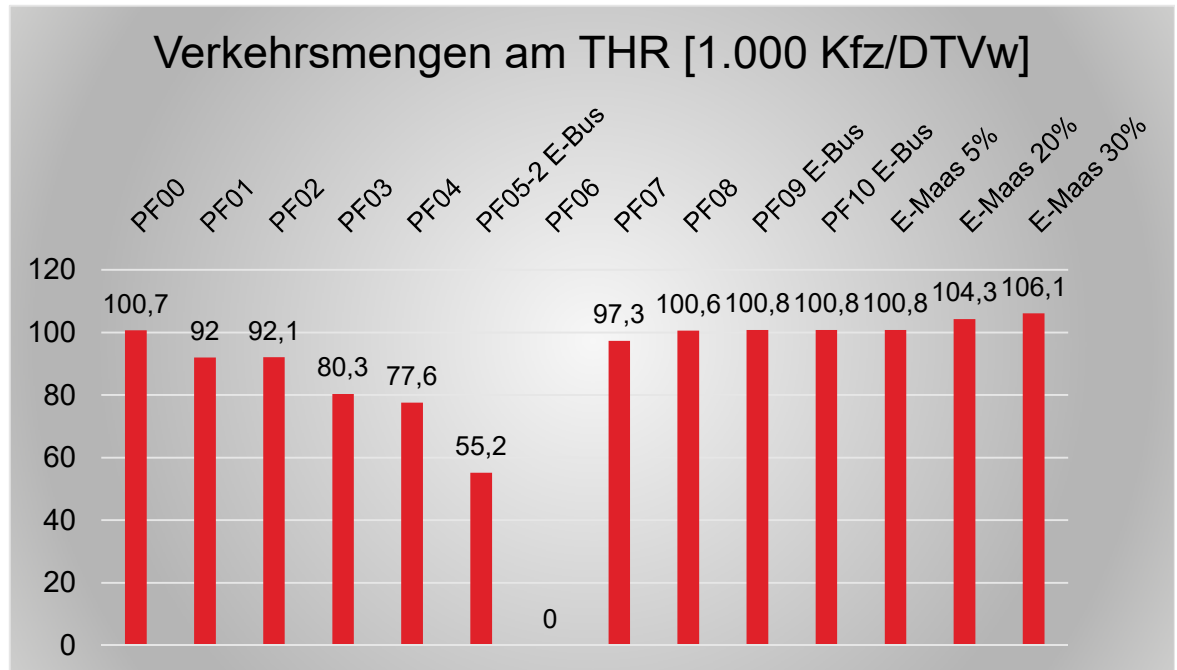


Abbildung 24: Verkehrsmengen am THR

### 3.3.2 Verkehrsablauf am THR

Der Verkehrsablauf wird zum einen von den Verkehrsmengen beeinflusst, bzw. vom Auslastungsgrad des Streckenabschnitts, dem Quotienten aus Verkehrsmenge und Kapazität. Zum anderen wird der Verkehrsfluss bestimmt durch die Verflechtung zwischen dem Hauptstrom und dem Nebenstrom vom Überflieger am Barkauer Kreuz sowie den Abbiege- und Einbiegerverkehr in die Nebenstraßen.

Die positiven Auswirkungen der Sperrung der Zu- und Abfahrten, der Reduzierung der Geschwindigkeitsbegrenzung von heute 70 km/h auf 50 km/h sowie der Einrichtung einer Zuflussregelungsanlage auf dem Überflieger ist in den Szenarien S1 bis S4 der mikroskopischen Simulation beschrieben worden.

### 3.3.3 Emissionen

Bei den Emissionen von NO<sub>2</sub> am Theodor-Heuss-Ring zeigen die Szenarien der Sperrung des THR für Diesel-Fahrzeuge schlechter Euro 6 eine deutliche Wirkung. Auch der Planfall 05 mit Reduktion der Kapazität für fließenden Kfz-Verkehr von jeweils 3 auf 2 Fahrstreifen pro Richtung und Einrichtung von Busspuren zeigt eine starke Wirkung.

Die übrigen, vor allem verkehrsplanerischen Maßnahmen haben nur einen geringen Effekt auf die Emissionen am THR.

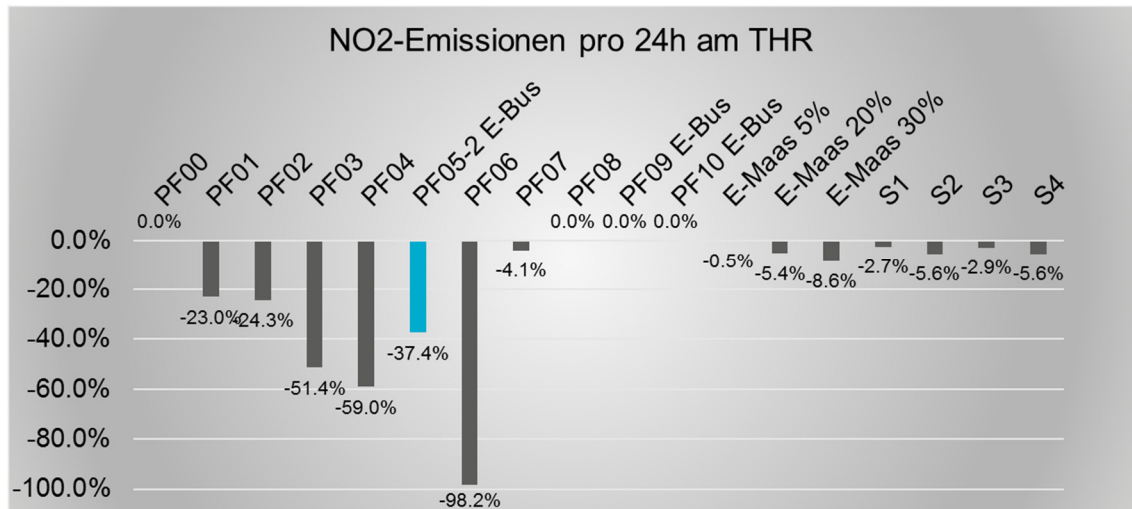


Abbildung 25: NO<sub>2</sub>-Emissionen pro 24h am THR

Betrachtet man die Summe der NO<sub>2</sub>-Emissionen im gesamten Stadtgebiet der Landeshauptstadt Kiel, so fällt auf, dass der Planfall 05 mit annähernd 6% Reduzierung als einziger der Planfälle eine spürbare positive Wirkung auf die stadtweiten Emissionen hat.

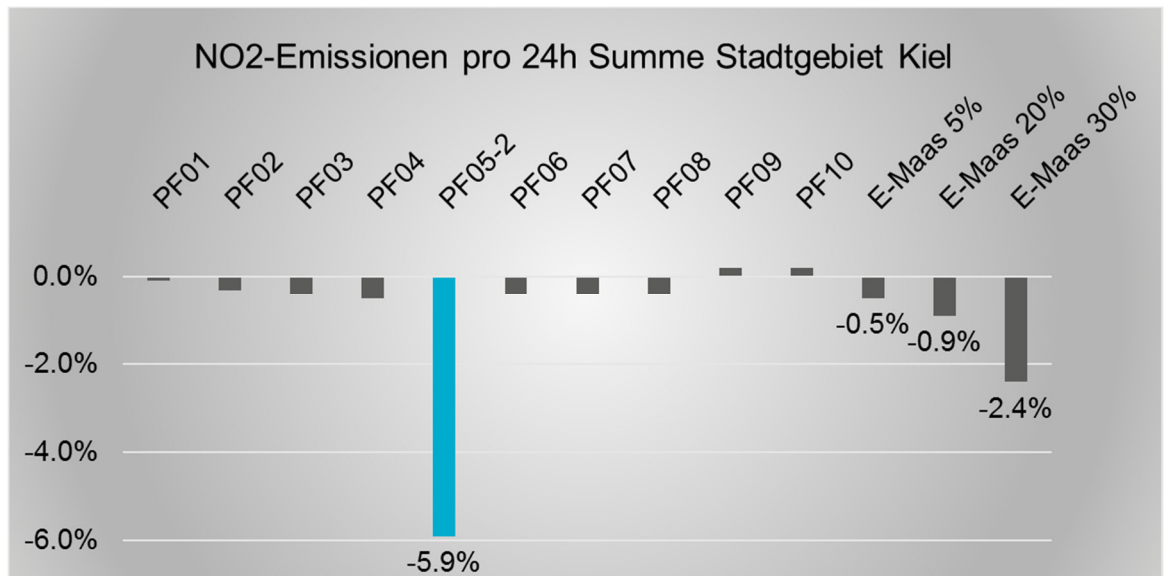


Abbildung 26: NO<sub>2</sub>-Emissionen pro 24h im Stadtgebiet Kiel

Ein Grund dafür ist, dass die Gesamt-Fahrzeugkilometerleistung in diesem Planfall deutlich sinkt, da die Pkw-Fahrer kürzere Wege zu ihren Zielen wählen, wie oben beschrieben.

### 3.3.4 Immissionen

Bei den Immissionen wird wiederum die Situation am THR selbst betrachtet, sowie der Auswirkung von Veränderungen im gesamten Stadtgebiet. Die Immissionsberechnungen wurden für die Planfälle mit starken Veränderungen bei den Emissionen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung 27 in einem Diagramm dargestellt.

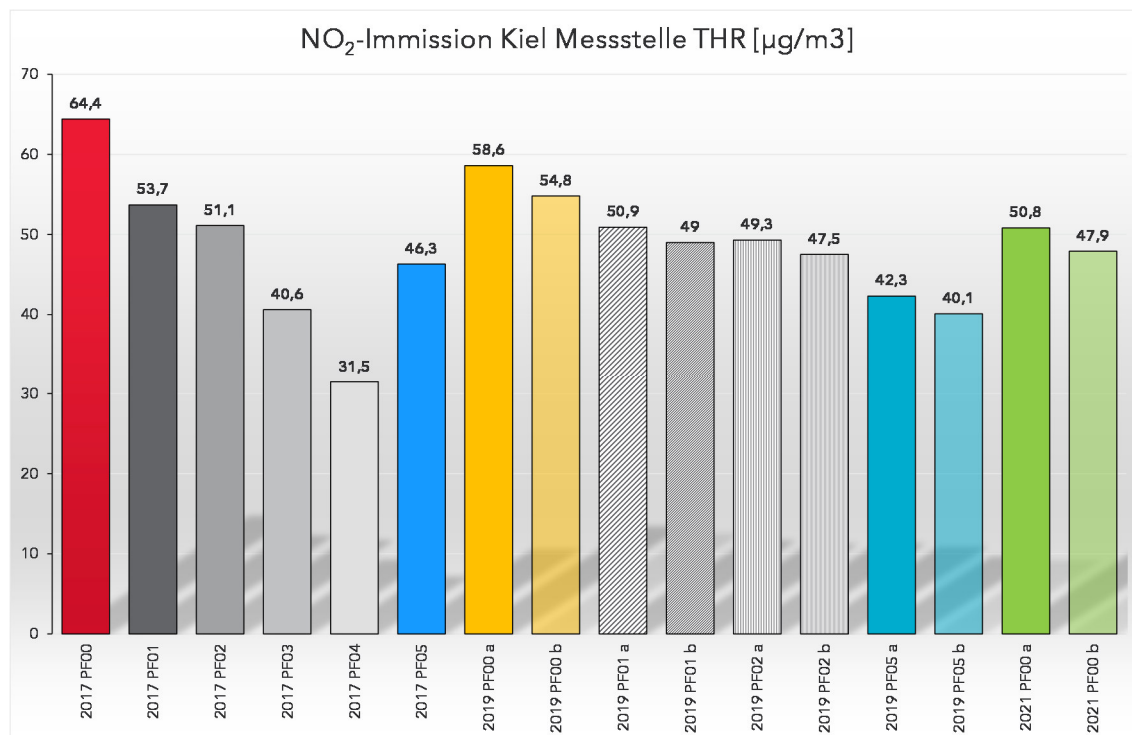


Abbildung 27: Modellierte Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionen an der Messstelle THR in Kiel

Ohne Maßnahmen bleiben die Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionen an der Messstelle Theodor-Heuss-Ring im Jahr 2019 (gelbe Säulen) und im Jahr 2021 (grüne Säulen) über dem Grenzwert von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dies gilt sowohl bei Berücksichtigung a) nur der natürlichen Flottenenerneuerung gemäß HBEFA 3.3 (jeweils dunklere Säulen), als auch b) bei der zusätzlichen Berücksichtigung der Maßnahmen des Dieselpfahls zwischen Bundesregierung und VDA (jeweils hellere Säulen).

Mit Maßnahmen am THR führen die Planfälle mit Fahrverboten für Dieselfahrzeuge unter EURO 6 (PF01-04 graue Säulen) schon kurzfristig zur deutlichen Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Immissionen an der Messstelle bzw. bei Fahrverboten in beiden Fahrtrichtungen (2017 PF04) zu einer Unterschreitung des Grenzwertes.

Auch der Planfall 05 mit Tempolimit und Busspur erzielt schon 2017 aufgrund der deutlich niedrigeren Fahrzeugmengen eine deutliche Annäherung an den Grenzwert von 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (blaue Säule). Bei einer Flottenfortschreibung wird im Jahr 2019 bei

der zusätzlichen Berücksichtigung der Maßnahmen des Dieselpipfels zwischen Bundesregierung und VDA der Grenzwert erreicht.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, welche Auswirkungen sich auf die modellierten Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionen an der Messstelle THR in Kiel durch die Variation der Bezugsjahre 2016 vs. 2017 ergeben. Ausgehend von dem 2016 gemessenen Jahresmittelwert von 65 µg/m<sup>3</sup> als Bezug ergibt sich ein modelltechnisch berechneter Referenzwert von 64,4 µg/m<sup>3</sup>. Auf diesen beziehen sich alle Auswertungen in diesem Gutachten. Zum anderen beträgt der im Jahr 2017 gemessenen Jahresmittelwert von 56 µg/m<sup>3</sup>. Diese jeweils zwei Messwerte beschreiben somit den zu erwartenden Bereich der künftigen Immissionen. Würde der Modellbezug auf den Referenzwert aus 2017 gesetzt, wäre das Gesamtniveau der Schadstoffbelastungen niedriger, die obigen Aussagen gelten aber auch in diesem Fall.

### **3.4 Bewertung zusätzliche Varianten der Stadt Kiel vom 19.10.2018**

Im Rahmen der VDA-Studie Luftreinhaltung wurden ergänzend zu den betrachteten Szenarien zwei weitere Planfälle andiskutiert:

1. Szenario mit Fahrverboten in Westrichtung auf dem rechten Fahrstreifen (in Nähe der Bebauung mit Wohnbevölkerung); das würde bedeuten, dass diese ausgesperrten Dieselfahrzeuge (Pkw und Lkw) auf die linken Fahrstreifen gelegt würden.
2. Busspur-Szenario mit Öffnung der Busspur auch für Elektrofahrzeuge und Fahrgemeinschaften - Umweltfahrstreifen

#### **3.4.1 Variante 1 - Dieselfahrverbote auf dem rechten Fahrstreifen**

Eine fahrstreifenfeine Umlegungsrechnung ist im makroskopischen Verkehrsmodell mit PTV Visum nicht direkt umsetzbar. Konkret ließe sich dies nur mit einer Verdoppelung des Streckennetzes umsetzen, wobei die einzelnen Abschnitte mit entsprechenden Freigabebegrenzungen gesondert modelliert werden müssten. In einer entsprechenden Umlegung würden sich die Fahrzeuge je nach Nutzungsverbot aufteilen.

Grundsätzlich kann für diese Variante festgestellt werden: die Kapazität des Gesamtquerschnitts ändert sich dadurch nicht, es entstehen allerdings einige Beeinträchtigungen durch den Fahrstreifenwechsel nach links und dann zurück nach rechts am Ende des Abschnitts, u.a. auch für Lkw. Da sowohl die Kapazität insgesamt weitgehend unverändert bleibt, als auch die Kapazität der 2 linken Fahrstreifen für die Diesel-Fahrzeuge ausreichend ist, wird sich durch diese Variante keine räumliche Verlagerung der Nachfrage einstellen.

Entsprechend würde eine neue Umlegungsrechnung keine Veränderungen erbringen.

### Bewertung

Es ist daher davon auszugehen, dass sich kein deutlicher Rückgang in den Verkehrsmengen in der makroskopischen Betrachtung ergeben, aber zusätzliche Herausforderungen bei der Einrichtung und beim Betrieb des Systems entstehen. Der hauptsächliche Vorteil liegt in der Verschiebung der Emissionsquelle der kritischen Fahrzeuge von der Messstelle. Dies kann durch eine Immissionsmodellierung auch ohne Verkehrsmodellierung abgebildet werden. Es ist zu diskutieren, ob die verkehrlichen Wirkungen ergänzend abgebildet werden sollten.

Eine Sperrung des rechten Fahrstreifens für Dieselfahrzeuge ist rechtlich durch entsprechende Beschilderung vermutlich umsetzbar, wenn auch mit einigen Zusatzfragen verbunden (durchgezogene Mittellinie die überfahrbar sein müsste usw.). Auch hier ist eine juristische Expertise erforderlich. Gerade in diesem Fall würde der verkehrliche Aspekt gering ausfallen, auch wenn die erforderliche Verflechtung zu einer zusätzlichen Komplikation führt. Der Hauptnutzen liegt in der Verlagerung der hauptsächlichen Emissionsquelle auf die beiden linken Fahrstreifen, sodass in diesem Fall eine Erstabschätzung auf Basis der Immissionsmodellierung hilfreich sein sollte.

Eine Modellierung der fahrstreifenfeinen Emissionen und Schadstoffausbreitung (Immissionen) setzt eine entsprechende Aufteilung der Fahrzeuge auf den Fahrstreifen voraus. Die Immissionsmodellierung müsste dann als ganz neuer Planfall neu berechnet werden.

### **3.4.2 Variante 2 - Busspur mit E-Fahrzeugen/ Fahrgemeinschaften - Umweltfahrstreifen**

Wie für Variante 1 gilt auch hier, eine fahrstreifenfeine Umlegungsrechnung ist im makroskopischen Verkehrsmodell mit PTV Visum nicht direkt umsetzbar. Eine exakte Modellierung des Umweltfahrstreifens wäre wie in Variante 1 erläutert möglich aber sehr aufwändig. Daher soll an dieser Stelle eine eher qualitative Einschätzung der Wirkung erfolgen.

Die PTV war an einer Machbarkeitsstudie zur Einführung eines Umweltfahrstreifens in Stuttgart beteiligt, sodass auch ohne zusätzliche Umlegung die Wirkung (und die Herausforderungen) abgeschätzt werden können. Die Herausforderungen bestehen in erster Linie in den juristischen Fragestellungen der Beschränkung einzelner Fahrstreifen, sowie in der Abwicklung des Verkehrsflusses, insbesondere in Verflechtungsbereichen.

Wesentliche Erkenntnisse der Überlegungen lassen sich wie folgt zusammenfassen. Vor einer Veröffentlichung der Ergebnisse mit Bezug auf die Studie aus Stuttgart muss beim Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg eine entsprechende Erlaubnis eingeholt werden.



- ▶ Eine bauliche Trennung der abzutrennenden Fahrbahnen ist nicht zwingend erforderlich; jedoch haben Straßenzüge mit Fahrbahntrennung den Vorteil, dass im Bereich von Knotenpunkten ein Teil der Abbiegeströme entfällt. Diese Abbiegeströme und Verkehrsverflechtungen an den Knotenpunkten, über die der Umweltfahrstreifen führt, stellen mit eines der größten Sicherheitsprobleme für den Umweltfahrstreifen dar.
- ▶ Abbiegebeziehungen, die eine Querung des Umweltfahrstreifens bedingen, sind zu unterbinden.
- ▶ In Stuttgart wurde eine Befragung zum Verkehrsverhalten nach Einführung des Umweltfahrstreifens durchgeführt. Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass
  - ▶ eine deutliche Mehrheit der Befragten das Verkehrsmittel Pkw nicht wechseln werden. Nur ein kleiner Anteil von 2% der Befragten ist bereit, auf den ÖV zu wechseln;
  - ▶ nur sehr wenige der Befragten wollen die Bedingungen zur Nutzung des Umweltstreifens erfüllen, indem sie zeitnah ein emissionsarmes Fahrzeug (im Falle von Kiel ein Elektrofahrzeug) anschaffen oder Fahrgemeinschaften bilden wollen. Auffallend ist der Unterschied zwischen der Bereitschaft jemanden mitzunehmen und selber Mitfahrer zu werden. Nur in 0,5% der Fälle sind die Befragten bereit auf das eigene Auto zu verzichten und Mitfahrer zu werden.
- ▶ Detaillierte Untersuchungen und Modellierungen in Stuttgart und die Befragung zeigen übereinstimmend, dass die Restriktionen etwa Fahrzeitverlängerungen aufgrund von Umweltfahrstreifen deutlich stärker auf die Routenwahl wirken als auf die Verkehrsmittelwahl. Pkw-Nutzer bleiben also im Pkw, suchen sich ggf. andere Routen. Durch die volatile Aufteilung des Fahrzeugstroms (die Kriterien zur Nutzung des Umweltfahrstreifens sind zeitlich nicht konstant), ist das Gesamtsystem sensibel.
- ▶ Gleichwohl kommt es zu einer Durchmischung von Verkehrsströmen, in dem privilegierte Fahrzeuge von anderen Routen oder von anderen Fahrstreifen auf den Umweltfahrstreifen wechseln, wenn sie sich eine Beschleunigung erwarten. Das kann z.B. bedeuten, dass ein Fahrzeug mit hoher Besetzung (und ggf. ungünstiger Emissionsklasse) durch eine Beschleunigung auf den Umweltfahrstreifen auf den Theodor-Heuss-Ring wechselt, also Verkehr auf den rechten Fahrstreifen angezogen wird. Da gleichzeitig, bei entsprechender Überlastung, auch nicht-privilegierte Fahrzeuge vom Theodor-Heuss-Ring verdrängt werden, entsteht ein Austauschprozess, der nicht zwingend zu einer Gesamtentlastung auf Immissionsseite führt.

- Aus den Ergebnissen der in Stuttgart durchgeführten Verkehrsflusssimulationen lässt sich schlussfolgern, dass Verflechtungsbereiche maßgeblichen Einfluss auf den Verkehrsablauf auf Streckenzügen mit Umweltfahrstreifen haben. Mit zunehmender Anzahl sowie Komplexität von Verflechtungen steigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von überproportional ausgeprägten Störungen im Verkehrsablauf.
- Streckenzüge mit Umweltfahrstreifen weisen eine hohe Nachfragesensitivität auf. Geringfügige Änderungen oder Schwankungen in der Nachfragemenge können signifikante Änderungen bei Reisezeiten und Rückstaulängen bewirken und den Verkehrsfluss nachhaltig beeinflussen.
- Systeme mit Umweltfahrstreifen sind aus den o. g. Gründen fragiler und weniger stabil im Hinblick auf eine Abwicklung des Verkehrs. Vor diesem Hintergrund wird die Einrichtung von Umweltfahrstreifen auf Streckenzügen, die bereits in der Bestandssituation neuralgische Punkte darstellen, kritisch gesehen.
- Zu den rechtlichen Rahmenbedingungen bestehen offene Punkte auf dem Weg zur Umsetzung. Hier liegt ein Problem darin, dass eine entsprechende Beschilderung nur mit einer Streckensperrung und gleichzeitiger Freigabe für berechnigte Fahrzeuge erfolgen kann. Diese Freigabe ist StVO-konform im Fall einer Mehrfachbesetzung oder privilegierter Fahrzeuge (mit Ausnahme Elektrofahrzeuge) nur mit Textergänzungen möglich, da es keine angemessenen Piktogramme in der StVO gibt und auch vom BMVI nicht geplant sind. Das würde dazu führen, dass die Verständlichkeit und damit auch die Befolgung stark leiden. Für einen Modellversuch ist eine enge Abstimmung mit dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur erforderlich.

### Bewertung

Im Fall der Öffnung der Busspur für Elektrofahrzeuge und Fahrzeuge mit hoher Besetzung wird im Vergleich zur Szenario der Busspur die Kapazität am Theodor-Heuss-Ring insgesamt ein wenig gesteigert, was den Verkehrsfluss verbessert. Gleichzeitig wird aber der Betrieb des Busses gestört und die Verflechtungen müssen geprüft werden. Hinzu kommen die juristischen Herausforderungen und die unklare Frage der Ahndung von einer widerrechtlichen Nutzung.

### 3.5 Grundlagen der Umsetzung

#### 3.5.1 Geschätzte Umsetzungszeiten

Die Umsetzungszeiten der einzelnen Maßnahmen und der Planfälle und Szenarien wurde im Rahmen dieser Quantifizierungsstudie grob geschätzt. Die folgenden Zeiten wurden geschätzt:

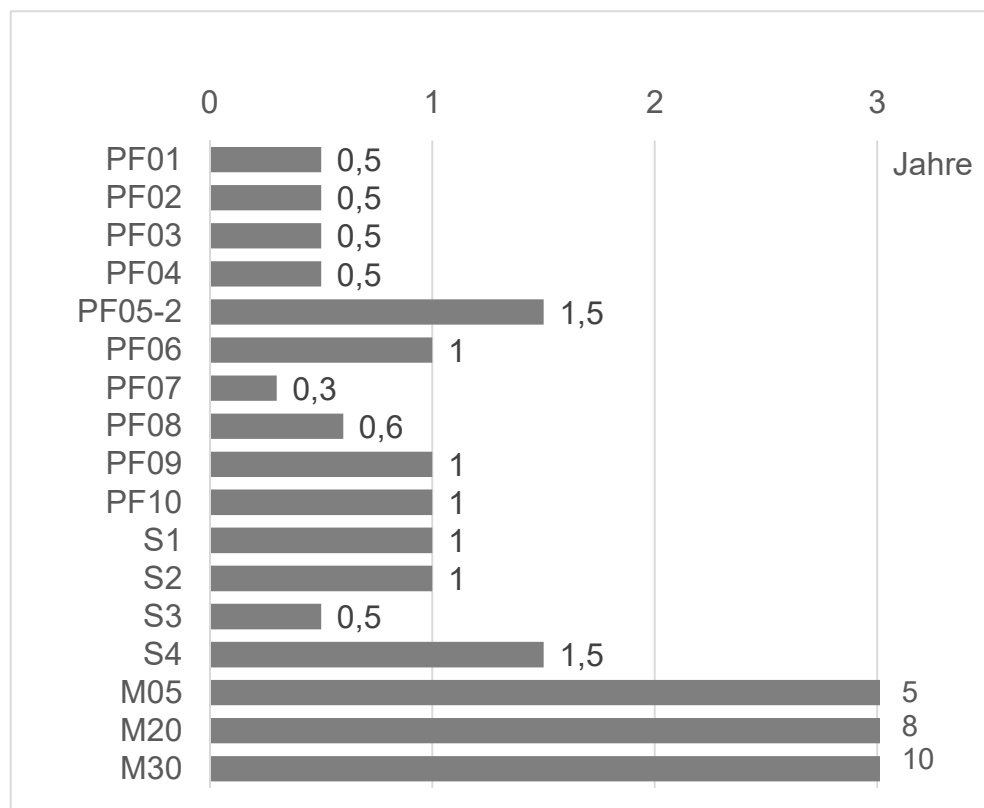


Abbildung 28: Geschätzte Umsetzungszeiten der Planfälle

Deutlich wird, für eine kurzfristige Wirkungserzielung eignen sich die Planfälle der Sperrung, die Maßnahmen des Planfalls 07, Tempolimit und Sperrung der Zufahrten. Die Umplanung des Busnetzes wird mit mindestens 1 Jahr veranschlagt und die Einrichtung von Busspuren mit 1,5 Jahren.

Um bereits im Jahre 2019 Wirkungen zu erzielen ist also eine schrittweise Umsetzung notwendig (s.o.)

#### 3.5.2 Geschätzte Investitions- und Betriebskosten

Auch die Investitions- und Betriebskosten wurden grob geschätzt und sind in der folgenden Übersicht dargestellt:

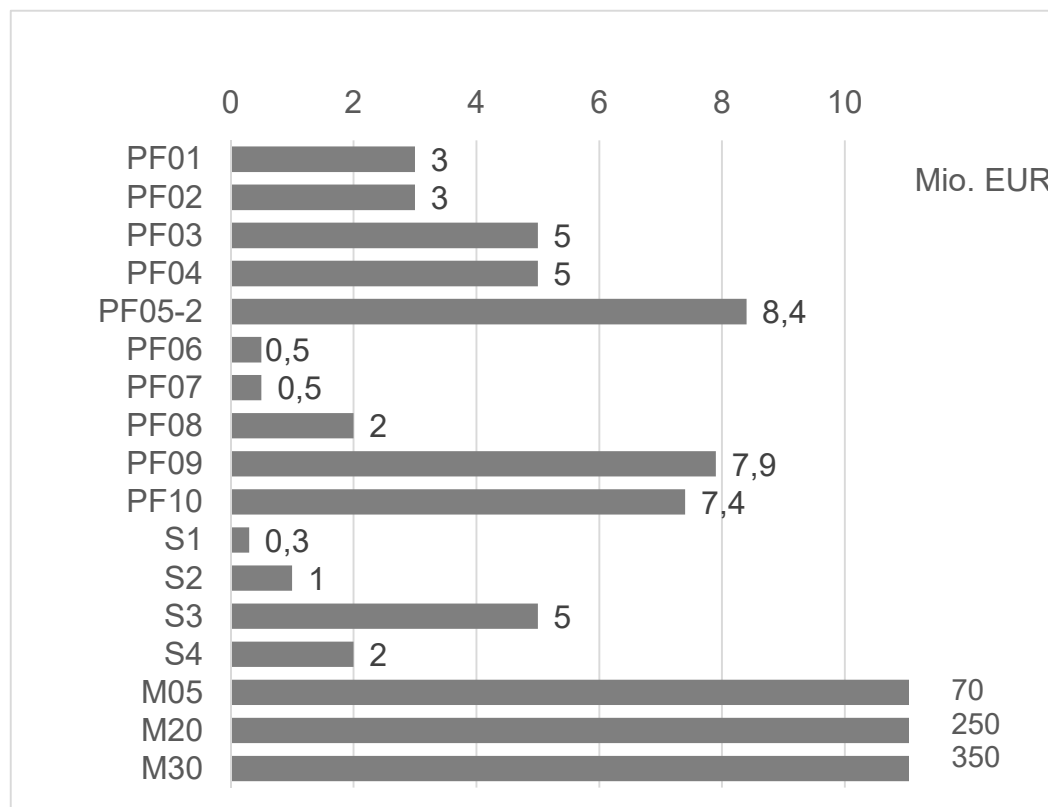


Abbildung 29: Geschätzte Investitions- und Betriebskosten

Den Kostenschätzungen liegen sehr grobe und vereinfachende Annahmen zugrunde. Z.B. die Schätzung der Kosten zur Verbesserungen im ÖPNV

► Planfall 05 und Planfall 10

- zusätzliche Fahrplankilometer: 1.430 ... à 4 Euro der km =  $4 \times 1.430 \times 6.5 \times 52 = 1,93$  Mio. Euro p.a.
- zusätzliche Fahrplanfahrten: 114 ... 12 zusätzliche Gelenkbusse à 350.000 = 4,2 Mio. Euro
- zusätzliche Einsatzzeit: 40h pro Tag ... 6 Fahrer (inkl. Reserve) à 50.000 p.a. = 300.000 Euro p.a.

► Planfall 09

- zusätzliche Fahrplankilometer: 1.740 ... à 4 Euro der km =  $4 \times 1.740 \times 6.5 \times 52 = 2,35$  Mio. Euro p.a.
- zusätzliche Fahrplanfahrten: 114 ... 12 zusätzliche Gelenkbusse à 350.000 = 4,2 Mio. Euro
- zusätzliche Einsatzzeit: 50 ... 8 Fahrer (inkl. Reserve) à 50.000 = 400.000 Euro p.a.

## 4 Entwicklung Umsetzungsvorschlag

### 4.1 Mögliche Varianten zur Einhaltung der Grenzwerte

#### 4.1.1 Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring

Zur Reduzierung der Immissionen am Theodor-Heuss-Ring wurden verschiedene Formen von Fahrverboten auf dem Theodor-Heuss-Ring zwischen dem Barkauer Kreuz und dem Waldwiesenkreisel in Betracht gezogen. Folgende unterschiedliche Formen von Fahrverboten wurden untersucht:

- ▶ Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf dem Theodor-Heuss-Ring in Fahrtrichtung Westen (Planfall 01)
- ▶ Durchfahrtsverbot für alle Diesel-Kfz unter Euro 6 auf dem Theodor-Heuss-Ring in Fahrtrichtung Westen (Planfall 02)
- ▶ Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf dem Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen (Planfall 03)
- ▶ Durchfahrtsverbot für alle Diesel-Kfz unter Euro 6 auf dem Theodor-Heuss-Ring in beiden Fahrtrichtungen (Planfall 04)
- ▶ Vollsperrung des Theodor-Heuss-Rings für alle Kfz in beiden Fahrtrichtungen (Planfall 06), wurde nicht weiter betrachtet

Um Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring zu vermeiden, wurde ein integriertes umweltorientiertes Alternativszenario entwickelt, welches schrittweise umgesetzt werden kann.

#### 4.1.2 Integriertes umweltorientiertes Alternativszenario

Im Ergebnis der makroskopischen Modellrechnungen stellt der Planfall 05 mit einer Kapazitätseinschränkung für den fließenden Kfz-Verkehr auf dem Theodor-Heuss-Ring in Kombination mit der Einführung eines Tempolimits von 50 km/h plus Sperrung der Zufahrten aus / in Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings und der Einführung zwei neuer Schnellbuslinien auf dem Theodor-Heuss-Ring die sinnvollste Variante dar. Damit gelingt es zum einen, die sehr hohen Verkehrsmengen an diesem neuralgischen Abschnitt des Kieler Straßennetzes nachhaltig und dauerhaft zu senken, dadurch die Emissionen von Schadstoffen und Lärm deutlich zu reduzieren, die Luftqualität zu verbessern und die Lebensqualität in diesem Bereich der Landeshauptstadt zu erhöhen. Zum anderen werden durch diese Variante modale und räumliche Mobilitätsalternativen angeboten, die zu einer insgesamt nachhaltigeren und umweltgerechteren Abwicklung der Verkehrsnachfrage führen: Verlagerung vom Pkw zum ÖPNV und zum nichtmotorisierten Verkehr, kürzere Wege im MIV und insgesamt Abnahme der Fahrzeugkilometer im Bereich der Landeshauptstadt.

Da diese Variante jedoch mit der Kapazitätseinschränkung am THR und dadurch mit erheblichen Veränderungen verbunden ist, die kurzfristig zu massiven Stauerscheinungen und Verkehrszusammenbrüchen führen können, wird eine schrittweise Einführung von Maßnahmen empfohlen, die schon kurzfristig zu Verbesserungen der Luftqualität beitragen und die der Verwaltung nach jedem Schritt verschiedene Handlungsoptionen geben.

Empfohlen wird:

- **1. Schritt:** Die schnelle Einführung einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h anstatt der heute erlaubten 70 km/h auf dem Theodor-Heuss-Ring. Diese Reduzierung der Geschwindigkeiten ist sinnvoll und notwendig in einer innerstädtischen Straße, die mit Gehwegen direkt an der Bebauung vorbeiführt. Diese Reduzierung der Geschwindigkeitsbegrenzung kann noch im Jahr 2018 angeordnet und umgesetzt werden.
- **2. Schritt:** Schließung der Zufahrten in die Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings, um das direkte Einfahren und Ausfahren in den und vom THR zu verhindern. Damit werden Störungen im durchgehenden Verkehrsfluss auf dem THR unterbunden und der Verkehrsfluss auf dem THR insgesamt verstetigt. Weniger Beschleunigungen und Anfahrvorgänge führen zu einer Reduktion der Emissionen auf dem THR und damit zu einer Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Immissionen in unmittelbarer Nähe des THR. Diese Maßnahme kann ebenfalls 2018 angeordnet werden und innerhalb weniger Monate umgesetzt werden (Beginn des Jahres 2019).

Schritt 1 und 2 zusammen entspricht dem Planfall 07 (siehe Kapitel 3.1.2.1).

Für eine weitere Verstetigung des Verkehrsablaufes kann in einem 3. Schritt eine Zuflussregelung/ -dosierung zum THR eingerichtet werden.

- **3. Schritt: Option 1 - Einrichtung einer Zuflussregelungsanlage** am Überflieger im Bereich des Barkauer Kreuzes für die Verkehre aus Süden in Fahrtrichtung West in Verbindung mit einer Zuflussdosierung auf der B 404 am Knotenpunkt Neue Hamburger Str. / Hofteichstraße in Fahrtrichtung Nord. (siehe Kapitel 3.2.1 Szenario 1)  
Diese Zuflussdosierung im Süden kann durch zusätzliche Maßnahmen verträglich gestaltet werden, z.B. durch grundsätzliche Information in Presse und Internet und dynamische Information der Verkehrsteilnehmer durch Wechselwegweiser und Hinweise auf modale Alternativen (P+R zum Bus) und räumliche Alternativen (Alternativrouten).  
Die Zuflussregelung verbessert die Stetigkeit des Verkehrsflusses auf dem THR und reduziert damit die Emissionen und Immissionen weiter. Allerdings ist zu beachten, dass die Zuflussregelungsanlage, die Veränderung der LSA-Steuerung am Knotenpunkt Neue Hamburger Str. / Hofteichstraße zur Zuflussdosierung und die begleitenden Informationssysteme erst im Laufe des Jahres 2019 errichtet werden können, sodass die Wirkung noch nicht voll auf die Jahresmittelwerte 2019 angerechnet werden können.

► **3. Schritt: Option 1a - Einrichtung einer dynamischen Dosierung am Knoten Neue Hamburger Str. / Hofteichstraße zur Vorbereitung der Zuflussregelungsanlage**

Option 1a besteht in der Dosierung des Zuflusses aus Süden in Richtung auf das Barkauer Kreuz und damit auf den Überflieger zum THR. Diese Zuflussdosierung vor der eigentlichen Verflechtung kann als Vorbereitung für eine Einrichtung einer Zuflussregelungsanlage auf dem Überflieger gesehen werden. Die Dosierung kann dynamisch geschaltet werden, entweder über Zeitplan (Wochenautomatik) oder abhängig von der Überschreitung von Schwellenwerten bei den Verkehrsmengen auf dem THR oder Immissionsmesswerten am Container.

Die Dosierung sollte verknüpft werden mit einer dynamischen Anzeige über Wechselwegweiser, mit dem die Verkehrsteilnehmer im Vorlauf des Knotenpunktes Neue Hamburger Str. / Hofteichstraße auf die kritische Umweltsituation am THR hingewiesen werden und mit dem sie darüber informiert werden, dass die Grünzeiten an der LSA reduziert sind. Sie sollten dann Alternativen angeboten bekommen, Umstieg auf den Bus bzw. andere Routen in den Osten oder Westen Kiels.

Ggf. genügt diese Zuflussdosierung mit den Informationsmaßnahmen alleine schon, um die Verkehrsmengen zu reduzieren, die Situation im Verflechtungsbereich auf dem THR zu entspannen und Stauzustände zu reduzieren.

► **3. Schritt: Option 2 - Vergrößern der Entfernung des fließenden Kfz-Verkehrs vom Immissionshotspot** durch Kapazitätseinschränkung und Einrichtung von Busspuren auf beiden Seiten des THR und damit Umsetzung von Planfall 05 (siehe Kapitel 3.1.2.1)

Die Einrichtung von Busspuren und die begleitend notwendigen Maßnahmen an den Knotenpunkten sind umfangreicher und können bei rechtzeitiger Planung und Vorbereitung nicht vor Ende 2019 umgesetzt werden. Die Maßnahmen wirken stärker und reduzieren Verkehrsmengen, Emissionen und Immissionen am THR deutlich. Allerdings wirken auch diese Maßnahmen erst im Jahr 2020.

### Zeitliche Vorgehensweise

Aufgrund der vorgenannten Wirkungen der verschiedenen Maßnahmen, der grob geschätzten Umsetzungszeiten und der grob geschätzten Kosten für Investition und Betrieb wird die folgende Empfehlung der zeitlichen Vorgehensweise gegeben:

- Sofortige Umsetzung der Maßnahme Geschwindigkeitsbeschränkung auf dem Theodor-Heuss-Ring auf 50 km/h
  - Beginn der Wirksamkeit Januar 2019
- Sofortige Umsetzung der Maßnahme Sperrung der Zufahrten in die Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings, um das direkte Einfahren und Ausfahren in den und vom THR zu verhindern
  - Beginn der Wirksamkeit Januar 2019

***Prüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen  
durch Verkehrs- und Luftqualitätsmessungen***

- ▶ Vorbereitende Planung und Anordnung von Maßnahmen mit längeren Umsetzungszeiten, etwa Planfall 05 mit Busspuren auf dem THR
- ▶ Vorbereitung der Zuflussdosierung am Knoten Neue Hamburger Str. (B404) / Hofteichstr (LSA19): Signalprogramm mit reduzierten Grünzeiten Richtung Norden
  - Beginn der Wirksamkeit Frühjahr 2019
- ▶ verbunden mit Wechselwegweisung an den Zuflüssen und Hinweis auf reduzierte Grünzeiten und Fahrtalternativen:
  - ▶ Am Busbahnhof Kiel Karlsburg von Süden auf der B404 kommend mit Hinweis auf den ÖPNV, P+R (Buslinien 41, 42, 43, 410 und 703) sowie auf die Routenalternative über Neue Hamburger Straße / Hamburger Chaussee / Rammsee / Hamburger Landstraße / Hamburger Chaussee in den Kieler Westen und Norden
  - ▶ Am Kreisverkehr Hamburger Landstraße / Hamburger Chaussee in Rammsee mit Hinweis auf die Fahrtalternative Hamburger Landstraße / Hamburger Chaussee in den Kieler Westen und Norden
  - ▶ Auf der B404 am Knoten Wellseedamm mit Hinweis auf Fahrtalternative über Wellseedamm in den Kieler Osten und Nordosten

- Beginn der Wirksamkeit Mitte 2019

***Prüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen  
durch Verkehrs- und Luftqualitätsmessungen***

- ▶ Wenn noch nicht ausreichend, Beginn des Aufbaus einer Zuflussregelungsanlage auf dem Überflieger Barkauer Kreuz auf den Theodor-Heuss-Ring Richtung Westen

- Beginn der Wirksamkeit Herbst 2019

***Prüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen  
durch Verkehrs- und Luftqualitätsmessungen***

- ▶ Wenn noch nicht ausreichend, um Immissionsgrenzen Ende 2019 / Anfang 2020 einzuhalten, Umsetzung weiterer bereits parallel geplanter Maßnahmen, insbesondere PF05 mit Einrichtung von Busspuren.

- Beginn der Wirksamkeit Frühjahr 2020



## 4.2 Verkehrliche Bewertung der beiden Varianten

Die verkehrlichen Auswirkungen der Varianten sind für die Planfälle der makroskopischen Wirkungsermittlung ausführlich im Kapitel 3.1.2.1 und in der Anlage 1 in Form von Differenzbelastungsplänen im Vergleich zwischen dem jeweiligen Planfall und dem Bezugsfall dargestellt. Für die Szenarien, welche in einer Mikrosimulation betrachtet wurden, sind die verkehrlichen Auswirkungen im Kapitel 3.1.2.2 ausführlich beschrieben.

Bei der verkehrlichen Bewertung der Varianten des Umsetzungsvorschlages, wird bei den Strecken vor allem geschaut, ob diejenigen Strecken mit einer signifikanten Mehrbelastung, aus Sicht der Querschnittsgestaltung, eine ausreichende Kapazität aufweisen, um diese Mehrbelastung aufnehmen zu können. Bei den Knotenpunkten (hauptsächlich LSA Knoten) mit einer signifikanten Mehrbelastung am gesamten Knoten oder auf einzelnen Abbiegerelationen wird in einer überschlägigen Einschätzung betrachtet, ob an diesen Knoten trotz der Mehrbelastung eine ausreichende Verkehrsqualität erreicht werden kann oder ob an dem LSA-Signalprogrammablauf oder der Spuraufteilung etwas geändert werden muss.

### 4.2.1 Verkehrliche Auswirkungen der Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring

Die verkehrlichen Auswirkungen der Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring sind in Form von Differenzbelastungsplänen für die einzelnen Planfälle in der Anlage 1 dargestellt. In den Differenzbelastungsplänen sind im Vergleich zwischen dem jeweiligen Planfall und dem Bezugsfall für jeden Planfall die Verkehrszunahmen und Verkehrsentlastungen im Straßennetz zu erkennen. Die Verkehrszunahmen im Straßennetz stellen dabei die neue Wegewahl der Verkehrsteilnehmer dar, welche sich durch den Verkehrsdruck infolge der Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring einstellen.

Für die Planfälle 1 bis 4 (Fahrverbote für Dieselfahrzeuge unter Euro 6) ergeben sich dabei im Wesentlichen drei Ausweichrouten. Die Ausweichroute mit den größten Verkehrszunahmen verläuft zwischen dem Barkauer Kreuz und dem Waldwieselkreisel über die Alte Lübecker Chaussee und die Hamburger Chaussee über den Knotenpunkt Rondeel. Die beiden anderen Ausweichrouten verlaufen über die Nebenstraßen nördlich und südlich des Theodor-Heuss-Rings. Nördlich des Theodor-Heuss-Rings verläuft die Route über die Ratzeburger Straße, die Stormarnstraße und die Dorotheenstraße. Südlich des Theodor-Heuss-Rings verläuft die Route über den Hornheimer Weg, Alte Eichen, Vogelhain und die Von-der-Goltz-Allee. In Kapitel 3.1.2.1 wird detailliert auf die Verkehrsverlagerungen in den einzelnen Planfällen eingegangen.

Generell ist festzustellen, dass aus Sicht der Querschnittsgestaltung die Streckenabschnitte die prognostizierten Zunahmen der Verkehrsbelastungen aufnehmen kön-

nen. Es ist zu erwarten, dass an den Knotenpunkten im Verlauf der Ausweichstrecken die Verkehrsqualität absinken wird und es zu erhöhten Rückstauerscheinungen kommt. Gegebenenfalls sind an den betroffenen Knotenpunkten die LSA-Steuerungen und die Spuraufteilung anzupassen.

#### **4.2.2 Verkehrliche Auswirkungen im integrierten umweltorientierten Alternativszenario**

Das integrierte umweltorientierte Alternativszenario ist in mehrere Schritte unterteilt, welche sich an der zeitlichen Realisierbarkeit der jeweiligen Maßnahmen orientieren. Die Beschreibung der verkehrlichen Auswirkungen erfolgt für diese einzelnen Schritte.

##### **Schritt 1 und 2**

Der Schritt 1 beinhaltet eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf dem Theodor-Heuss-Ring von 50 km/h. Der Schritt 2 beinhaltet die Schließung der Zufahrten in die Nebenstraßen des Theodor-Heuss-Rings und aus denen auf den Theodor-Heuss-Ring. Beide Schritte zusammen entsprechen dem Planfall 07 sowie dem Szenario 2 in der Mikrosimulation.

Die Verkehrsverlagerungen infolge der Maßnahmen der Schritte 1 und 2 sind in Anlage 1 in Form eines Differenzbelastungsplans für den Planfall 07 dargestellt. Auf den Ausweichstrecken ist mit moderaten Verkehrszunahmen infolge räumlicher Verkehrsverlagerungen zu rechnen, welche die Verkehrsqualität und den Verkehrsablauf aber nicht nennenswert beeinflussen. Die Ergebnisse der Mikrosimulation für das Szenario 2 sind in Kapitel 3.2.2 detailliert beschrieben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Maßnahmen der Schritte 1 und 2 nur zu moderaten Verkehrszunahmen auf den Ausweichstrecken führen und für den Verkehrsablauf auf dem Theodor-Heuss-Ring zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz in beiden Richtungen eine deutliche Verstetigung zu verzeichnen ist. Dadurch werden die Brems- und Beschleunigungsvorgänge reduziert.

##### **Schritt 3 Option 1**

Die Option 1 im Schritt 3 umfasst die Einrichtung einer Zuflussregelungsanlage am Überflieger im Bereich des Barkauer Kreuzes für die Verkehre aus Süden in Fahrtrichtung West in Verbindung mit einer Zuflussdosierung auf der B 404 am Knotenpunkt Neue Hamburger Str. / Hofteichstraße in Fahrtrichtung Nord. Dies entspricht dem Szenario 1 in der Mikrosimulation.

Die Ergebnisse der Mikrosimulation für das Szenario 1 sind in Kapitel 3.2.2 detailliert beschrieben. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die Maßnahmen der Option 1 im Schritt 3 zu einer Verbesserung des Verkehrsablaufes für beide Fahrtrichtungen auf dem Theodor-Heuss-Ring zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz führen. Ergänzend zu Schritt 1 und 2 führt dies zu einer weiteren Verstetigung des Verkehrsablaufes und einer Reduzierung der Brems- und Beschleunigungsvorgänge. Die

Durchlasskapazität der Zuflussregelungsanlage (ca. 720 Kfz/h) kann das vorhandene Verkehrsaufkommen nicht vollständig aufnehmen. Wenn die Kapazität von 720 Kfz/h für die Spitzenstunde (8%) angenommen wird, ergibt dies eine Tageskapazität von ca. 9.000 Kfz/24h. Die Verkehrsbelastung für den Überflieger im Bezugsfall beträgt ca. 12.000 Kfz/24h, so das ca. 3.000 Kfz/24h räumlich verlagert werden. Dies führt zu einer moderaten Mehrbelastung auf den Ausweichstrecken, welche die Verkehrsqualität und den Verkehrsablauf aber nicht nennenswert beeinflussen.

### Schritt 3 Option 2

Die Option 2 im Schritt 3 umfasst die beidseitige Reduzierung von 3 auf 2 Fahrspuren auf dem Theodor-Heuss-Ring zwischen Waldwiesenkreisel und Barkauer Kreuz und die Nutzung der freiwerdenden Fahrspur (jeweils die rechte Fahrspur) als Busspur mit Einrichtung einer neuen Busspur. Diese Maßnahmen entsprechen dem Planfall 05-2 sowie dem Szenario 4 in der Mikrosimulation. Die verkehrlichen Auswirkungen des Planfalls 05-2 sind in Kapitel 3.1.2.1 ausführlich beschrieben und in Anlage 1 in Form eines Differenzbelastungsplans für den Planfall 05-2 dargestellt. Die Ergebnisse der Mikrosimulation für das Szenario 4 sind in 3.2.2 detailliert beschrieben worden.

Die beidseitige Reduzierung von 3 auf 2 Fahrstreifen stellt eine massive Einschränkung der Kapazität auf dem Theodor-Heuss-Ring dar und führt zu einer Reduzierung der Verkehrsbelastung um ca. 45% im Querschnitt. Dies führt zu höheren Verkehrsbelastungen auf möglichen Ausweichrouten. Hier erfährt vor allem das Hauptstraßennetz von Kiel eine Steigerung der Verkehrsbelastung aber auch das Nebenstraßennetz wird zum Teil als Ausweichstrecke genutzt.

Die größten Mehrbelastungen im Straßennetz sind auf folgenden Straßenzügen zu verzeichnen:

- ▶ Schwedendamm - Bahnhofstraße - Kaistraße
- ▶ Gablenzstraße
- ▶ B404 - Alte Lübecker Chaussee - Königsweg - Hopfentraße
- ▶ Hamburger Chaussee - Sophienblatt - Ringstraße
- ▶ Stresemannplatz - Ziegelteich - Kronshagener Weg
- ▶ Zu- und Abfahrtsrampen zum Theodor-Heuss-Ring in Fahrtrichtung Süd am Waldwiesenkreisel
- ▶ Zufahrtsrampe zum Theodor-Heuss-Ring in Fahrtrichtung Ost am Barkauer Kreuz

Zum Teil kommen die Streckenabschnitte, welche eine Steigerung der Verkehrsbelastung aufweisen, an ihre Kapazitätsreserven, können die zusätzlichen Verkehrsbelastungen aus Sicht der Querschnittsgestaltung aber noch aufnehmen. Es ist zu erwarten, dass an den Knotenpunkten im Verlauf der Ausweichstrecken die Verkehrs-

qualität absinken wird und es zu erhöhten Rückstauerscheinungen kommt. Gegebenenfalls sind an den betroffenen Knotenpunkten die LSA-Steuerungen und die Spuraufteilung anzupassen.

### 4.3 Bewertung der Immissionswirkung der beiden Varianten

#### 4.3.1 Auswirkungen Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring auf die Immissionssituation

In der folgenden Tabelle 27 ist das Reduktionspotenzial in Bezug auf Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionen am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord) für die Planfälle 01 bis 04 aufgeführt.

Jahr	Planfall	Beschreibung	Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	Reduktionspotenzial
2017	PF00	Referenzszenario Bezugsjahr	64,4	
	PF01	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	53,7	-17%
	PF02	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	51,1	-21%
	PF03	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in beiden Fahrtrichtungen	40,6	-37%
	PF04	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in beiden Fahrtrichtungen	31,5	-51%

Tabelle 27: Reduktionspotenzial PF 01 - 04 am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord)

Damit ist ersichtlich, dass mit dem Fahrverbot in einer Fahrtrichtung die Grenzwerte für NO<sub>2</sub>-Immissionen am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring noch nicht eingehalten werden. Erst bei einem Durchfahrtsverbot in beiden Fahrtrichtungen würde dieses Ziel erreicht.

Neben der Betrachtung der lokalen Auswirkungen nur auf den Messpunkt am THR bezogen wurden im Rahmen dieses Gutachtens auch weitere Auswirkungen betrachtet. Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für das Bezugsjahr 2017 sind in den Anlagen 3 als Flächenkartogramme für den Netzzusammenhang abgebildet. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Differenzen der NO<sub>2</sub>-Immissionen gegenüber dem Referenzfall PF00 2017 je Straßenabschnitt dargestellt. Grüne Balken stehen dabei für eine Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionen und rote für Zunahmen. Da in den Berechnungen für das Jahr 2017 alle anderen Parameter konstant sind, resultieren die Wirkungen ausschließlich aus den Veränderungen der verkehrlichen Emissionen

infolge der Fahrfahrbote gemäß Planfall 01 bis 04. Die Differenzen in den NO<sub>2</sub>-Immissionen korrespondieren mit den mit den Differenzbelastungen des Verkehrs und den unter Punkt 4.2.1 beschriebenen verkehrlichen Auswirkungen.

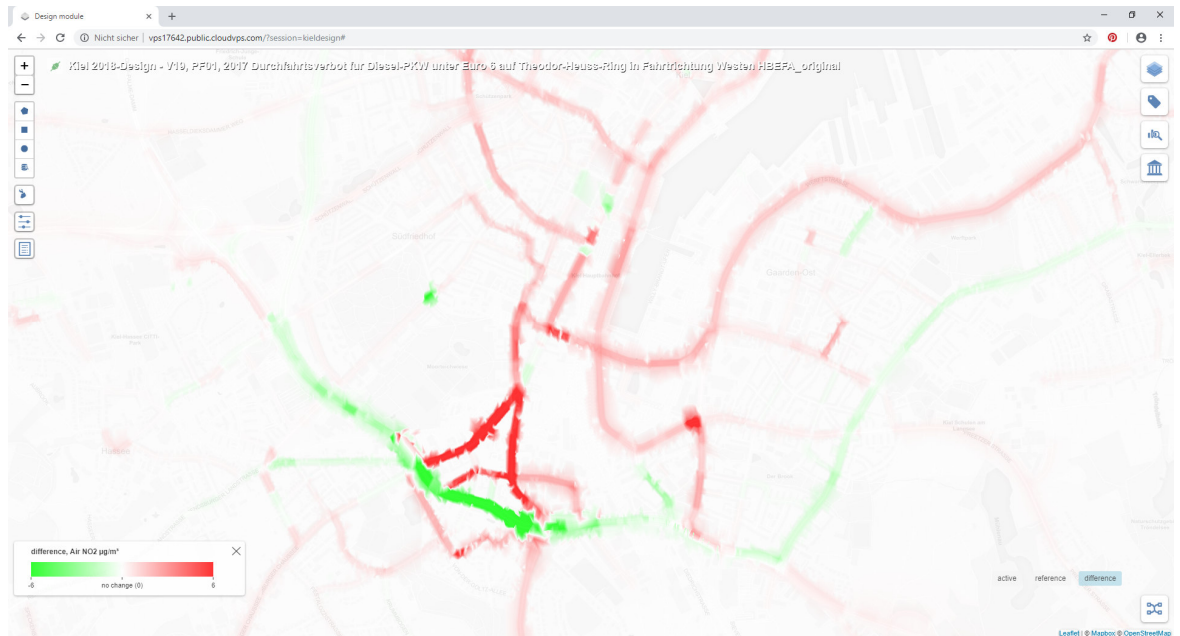


Abbildung 30: Differenz NO<sub>2</sub>-Immissionen PF 01 2017 vs. PF 00 2017

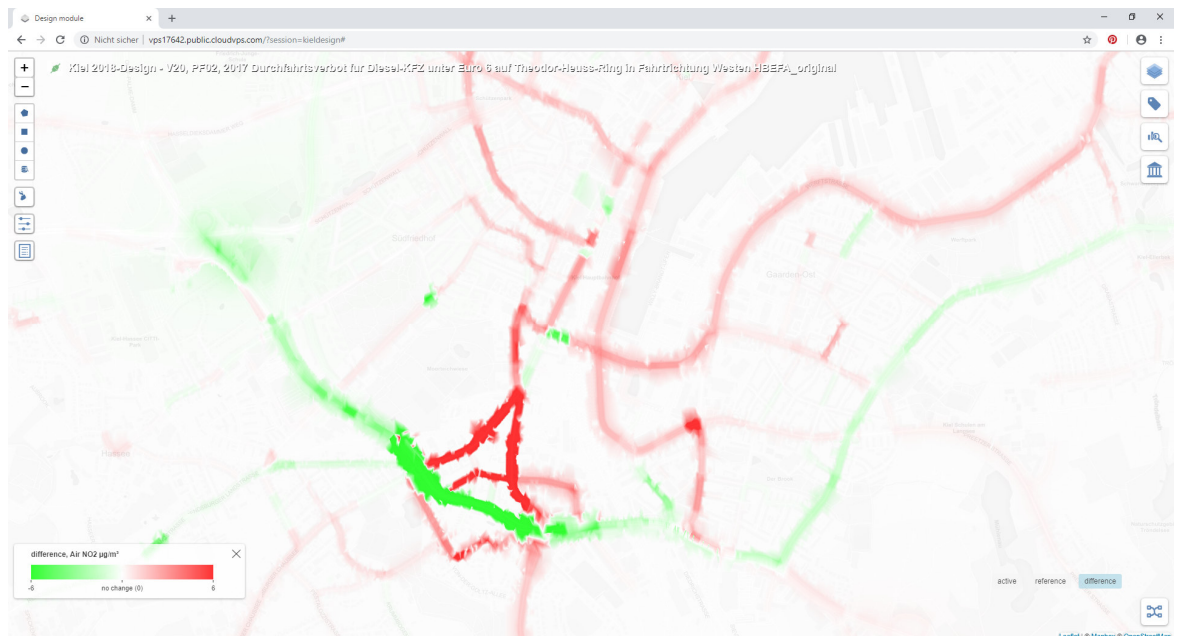


Abbildung 31: Differenz NO<sub>2</sub>-Immissionen PF 02 2017 vs. PF 00 2017

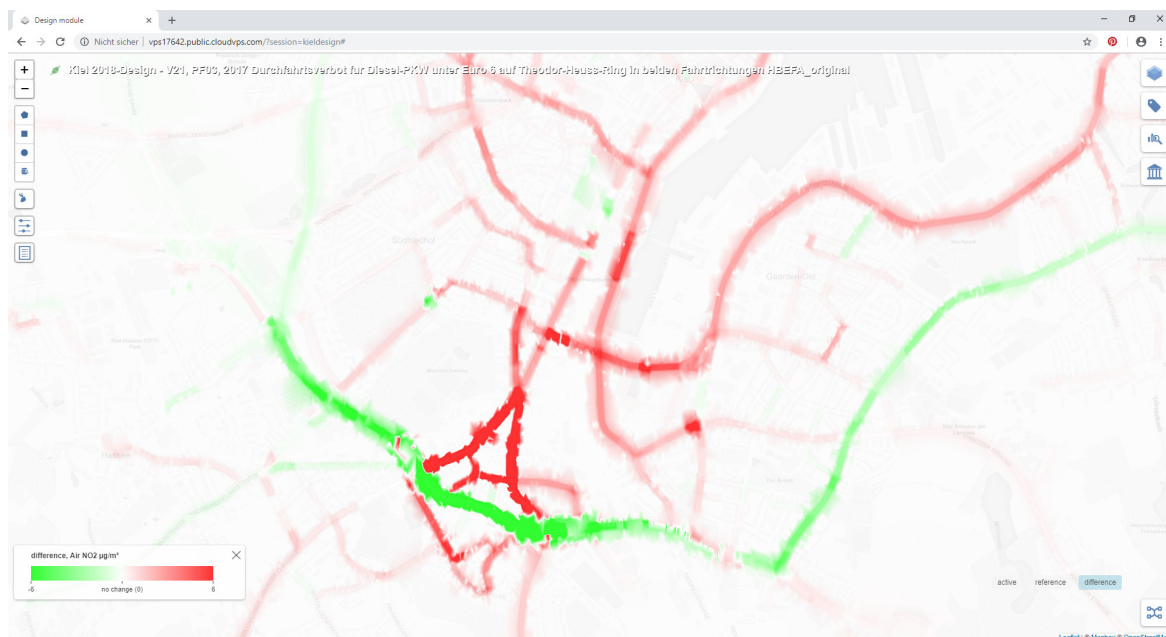


Abbildung 32: Differenz NO<sub>2</sub>-Immissionen PF 03 2017 vs. PF 00 2017

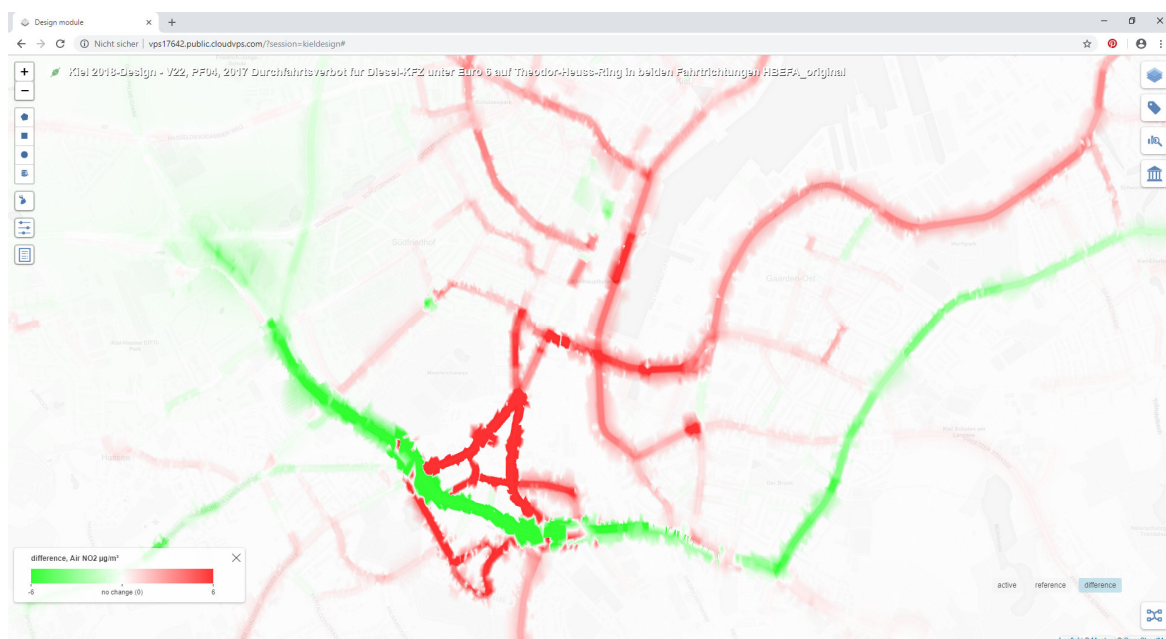


Abbildung 33: Differenz NO<sub>2</sub>-Immissionen PF 04 2017 vs. PF 00 2017

Nicht alle hier dargestellten Straßenabschnitte mit Zunahmen in den NO<sub>2</sub>-Immissionen führen tatsächlich zu Grenzwertüberschreitungen. Deshalb wird in der folgenden Tabelle 28 näher auf die Differenzen der Betroffenheit infolge der Änderungen in den NO<sub>2</sub>-Immissionen in den Planfällen 01 - 04 im Stadtgebiet Kiel eingegangen.

Deutlich wird, dass in den Planfällen 01 und 02 mit dem Dieselfahrverbot auf dem THR in Fahrtrichtung Westen zwar die Länge der von Grenzwertüberschreitungen

betroffenen Straßenabschnitte zunimmt, aber die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Einwohner gegenüber dem Referenzfall PF 00 2017 reduziert werden können.

Jahr	Planfall	Beschreibung	Einwohner > 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Fläche (m <sup>2</sup> ) > 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Straßen (m) > 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>
2017	PF01	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	-186	+2.500	+9.650
	PF02	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in Fahrtrichtung Westen	-13	+6.300	+8.520
	PF03	Durchfahrtsverbot für Diesel-Pkw unter Euro 6 auf THR in beiden Fahrtrichtungen	+309	+11.600	-1.790
	PF04	Durchfahrtsverbot für Diesel-Kfz unter Euro 6 auf THR in beiden Fahrtrichtungen	+676	+16.000	-2.090

Tabelle 28: Differenzen der Betroffenheit PF 01 - 04 von NO<sub>2</sub>-Immissionen Stadtgebiet Kiel

Anders dagegen verhält es sich bei einem Fahrverbot für Diesel unter Euro 6 in beiden Fahrtrichtungen. Hier reduziert sich zwar die Länge der betroffenen Straßenabschnitte, aber die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Einwohner nimmt gegenüber dem Referenzfall PF 00 2017 deutlich zu bzw. verdoppelt sich sogar, obwohl am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord) die Grenzwerte für NO<sub>2</sub>-Immissionen erreicht bzw. unterschritten werden.

Dieses Ergebnis entspricht nicht den planerischen Zielstellungen dieser Maßnahmen, so dass Fahrverbote auf dem Theodor-Heuss-Ring und insbesondere die Planfälle 03 und 04 nicht zur Realisierung empfohlen werden.

#### 4.3.2 Auswirkungen Integriertes umweltorientiertes Alternativszenario auf die Immissionssituation

In der folgenden Tabelle 29 ist das Reduktionspotenzial in Bezug auf Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Immissionen am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord) für den Planfall 05 für die Jahre 2017 und 2019 aufgeführt. Es wird klar, dass zum Jahr 2017 mit diesem Maßnahmenpaket die NO<sub>2</sub>-Immission zwar deutlich gesenkt aber die Grenzwerte am Messpunkt THR noch nicht eingehalten werden. Erst im Jahr 2019 wenn eine Änderung in der Flottenzusammensetzung eingetreten ist, kann dieses Ziel erreicht werden. Vor dem Hintergrund, dass dieses Maßnahmenpaket nicht ad hoc umsetzbar ist, sondern wie in Punkt 4.1.2 beschrieben einer zeitlich gestuften Umsetzung bedarf ist es realistisch, auf das Prognosejahr 2019 zu schauen.

Jahr	Planfall	Beschreibung	Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> (ug/m <sup>3</sup> )	Reduktionspotenzial
2017	PF00	Referenzszenario Bezugsjahr	64,4	
	PF05	Kapazitätseinschränkung, Busspur, Schnellbuslinie, Tempolimit auf THR, Sperrung Ein- und Ausfahrten	46,3	-28%
2019	PF05 a	Kapazitätseinschränkung, Busspur, Schnellbuslinie, Tempolimit auf THR, Sperrung Ein- und Ausfahrten, mit natürlicher Flottenentwicklung	42,3	-34%
	PF05 b	Kapazitätseinschränkung, Busspur, Schnellbuslinie, Tempolimit auf THR, Sperrung Ein- und Ausfahrten, mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	40,1	-38%

Tabelle 29: Reduktionspotenzial PF 05 am Messpunkt Theodor-Heuss-Ring (Nord)

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die Bezugsjahre 2017 und 2019 sind in den Anlagen 3 als Flächenkartogramme für den Netzzusammenhang dargestellt. In der nachfolgenden Abbildung 34 sind die Differenzen der NO<sub>2</sub>-Immissionen gegenüber dem Referenzfall PF00 2017 je Straßenabschnitt dargestellt. Grüne Balken stehen dabei für eine Reduktion der NO<sub>2</sub>-Immissionen und rote für Zunahmen.



Abbildung 34: Differenz NO<sub>2</sub>-Immissionen PF 05 2017 vs. PF 00 2017

In diesem Differenzplan wird deutlich, dass die Differenzen in den NO<sub>2</sub>-Immissionen mit den mit den Differenzbelastungen des Verkehrs und den unter Punkt 4.2.2 beschriebenen verkehrlichen Auswirkungen korrespondieren. Es ist anzumerken, dass nicht alle hier dargestellten Straßenabschnitte mit Zunahmen in den NO<sub>2</sub>-Immissionen tatsächlich zu Grenzwertüberschreitungen führen.



In der folgenden Tabelle 30 wird näher auf die Differenzen der Betroffenheit infolge der Änderungen in den NO<sub>2</sub>-Immissionen im Planfall 05 in den Jahren 2017 und 2019 im Stadtgebiet Kiel eingegangen.

Deutlich wird, dass sich im Jahr 2017 zwar die Länge der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Straßenabschnitte um ca. 6,5km reduziert, aber die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Einwohner gegenüber dem Referenzfall um 139 Personen wächst. Erst ab dem Jahr 2019 reduziert sich auch die Anzahl der von Grenzwertüberschreitungen betroffenen Einwohner deutlich.

Jahr	Planfall	Beschreibung	Einwohner > 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Fläche (m <sup>2</sup> ) > 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	Straßen (m) > 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>
2017	PF05	Busspur, Schnellbuslinie, Tempolimit auf THR, Sperrung Ein- und Ausfahrten	+139	+10.500	-6.450
2019	PF05 a	mit natürlicher Flottenentwicklung	-268	+200	-11.450
	PF05 b	mit natürlicher Flottenentwicklung und Dieselpipfel	-508	-4.700	-13.060

Tabelle 30: Differenzen der Betroffenheit PF 05 von NO<sub>2</sub>-Immissionen Stadtgebiet Kiel

Zusammenfassend kann deshalb eine zeitlich gestaffelte Umsetzung der Maßnahmen des Integrierten umweltorientierten Alternativszenarios für eine wirksame Reduzierung der NO<sub>2</sub>-Immissionen in der Stadt Kiel empfohlen werden.

## 5 Weitere Unterstützung durch die PTV und Nutzung der Werkzeuge und Ergebnisse

Die aufgebauten Modelle und Simulationen werden als PTV Visum, PTV Vissim und Urban Strategy Dateien dem Auftraggeber übergeben. Die Ausführungen zum Modell reichen für einen geübten Anwender von PTV Visum und PTV Vissim aus, um weitere Berechnungen durchzuführen. Dadurch kann der Auftraggeber, nach Erwerb von Nutzungslizenzen, oder ein Dritter, der Nutzungslizenzen besitzt, eigene Modell- und Simulationsrechnungen durchführen.

Die PTV steht der Landeshauptstadt Kiel auch im Nachgang für Folgeaufträge zur Verfügung und kann die Landeshauptstadt mit der langjährigen Erfahrung und Kompetenz in Verkehrsmodellierung und Simulation, Verkehrsplanung, Verkehrstechnik und Verkehrsleittechnik bei der Planung und Umsetzung der verkehrsplanerischen, verkehrstechnischen und leittechnischen Maßnahmen unterstützen.

## Quellenverzeichnis

- [1] „Luftmessstation Kiel - Theodor-Heuss-Ring,“ 02.07.2018. [Online]. Available: <https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/luftqualitaet/Messstationen/KielTHRing.html>.
- [2] I. T. F. OECD, „Shared Mobility- Innovations for liveable Cities, 2016 und Shared Mobility – Simulations for Helsinki, 2017“.
- [3] Gertz Gutsche Rümenapp, „Verkehrsmodell KielRegion,“ 22.02.2018.
- [4] INFRAS im Auftrag der Umweltbundesämter Deutschland, Schweiz, Österreich und weiteren europäischen Umwelt- und Verkehrsbehörden, „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.3,“ 25.04.2017.
- [5] „A. Manders et al., Curriculum vitae of the LOTOS-EUROS (v2.0) chemistry transport model, geoscientific model development, 2017“.
- [6] „C. Schneider et al., ArcGIS basierte Lösung zur detaillierten, deutschlandweiten Verteilung (Gridding) nationaler Emissionsjahreswerte auf Basis des Inventars zur Emissionsberichterstattung, UBA-FB-002360, UBA 2016“.
- [7] „<https://www.ecmwf.int/en/research/modelling-and-prediction>“.
- [8] Kraftfahrt-Bundesamt, „Bestand an Kraftfahrzeugen nach Zulassungsbezirken am 1. Januar 2018 sowie nach ausgewählten Kraftstoffarten und Emissionsgruppen sowie für Personenkraftwagen zusätzlich nach Haltergruppen und für Lastkraftwagen nach der technisch zulässigen Gesamtmasse“.
- [9] *FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen - RASt 06; FGSV-Verlag, Köln, Stand 9. Januar 2009.*
- [10] *FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN: Richtlinien für die Markierung von Straßen - RMS, Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen, FGSV-Verlag, Köln, 1980.*
- [11] „Tabellenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ in der Landeshauptstadt Kiel; Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“; Dresden, Oktober 2014“.
- [12] „Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ SrV-Stadtgruppe: Oberzentren bis unter 500.000 EW, Topografie: flach Dresden, im April 2015 (aktualisierte Version vom 21.05.2015); Technische Universität Dresden“.
- [13] [Online]. Available: <https://www.kontextwochenzeitung.de/politik/315/mein-rechter-rechter-platz-ist-leer-4286.html#>. [Zugriff am 03. 12. 2018].

## Anlagen

### Verkehrliche Wirkungen - Makroskopische Berechnungen

- Anlage 1.1 Istzustand: Zähldaten DTVw
- Anlage 1.2 Makroskopische Berechnungen Übersicht Planfälle
- Anlage 1.3 Makroskopische Berechnungen Bezugsfall:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.4 Makroskopische Berechnungen Planfall 01:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.5 Makroskopische Berechnungen Planfall 01:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.6 Makroskopische Berechnungen Planfall 02:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.7 Makroskopische Berechnungen Planfall 02:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.8 Makroskopische Berechnungen Planfall 03:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.9 Makroskopische Berechnungen Planfall 03:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.10 Makroskopische Berechnungen Planfall 04:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.11 Makroskopische Berechnungen Planfall 04:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.12 Makroskopische Berechnungen Planfall 04:  
Differenzbelastung DTVw (stadtweit)
- Anlage 1.13 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-1:  
Linienetzplan, Modal Split, ÖV-Kennwerte
- Anlage 1.14 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-1:  
Differenz ÖV-Fahrten
- Anlage 1.15 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-1:  
Differenz ÖV-Fahrten (stadtweit)
- Anlage 1.16 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-1:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.17 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-2:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.18 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-2:  
Differenzbelastung DTVw

- Anlage 1.19 Makroskopische Berechnungen Planfall 05-2:  
Differenzbelastung DTVw (stadtweit)
- Anlage 1.20 Makroskopische Berechnungen Planfall 06:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.21 Makroskopische Berechnungen Planfall 06:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.22 Makroskopische Berechnungen Planfall 07:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.23 Makroskopische Berechnungen Planfall 07:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.24 Makroskopische Berechnungen Planfall 08:  
Parkwiderstand, Modal Split, ÖV-Kennwerte
- Anlage 1.25 Makroskopische Berechnungen Planfall 08:  
Differenz ÖV-Fahrten
- Anlage 1.26 Makroskopische Berechnungen Planfall 08:  
Differenz ÖV-Fahrten (stadtweit)
- Anlage 1.27 Makroskopische Berechnungen Planfall 08:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.28 Makroskopische Berechnungen Planfall 08:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.29 Makroskopische Berechnungen Planfall 08:  
Differenzbelastung DTVw (stadtweit)
- Anlage 1.30 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Liniennetzplan, Modal Split, ÖV-Kennwerte
- Anlage 1.31 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Differenz ÖV-Fahrten
- Anlage 1.32 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Differenz ÖV-Fahrten (stadtweit)
- Anlage 1.33 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.34 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.35 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Liniennetzplan, Modal Split, ÖV-Kennwerte
- Anlage 1.36 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Differenz ÖV-Fahrten

- Anlage 1.37 Makroskopische Berechnungen Planfall 09:  
Differenz ÖV-Fahrten (stadtweit)
- Anlage 1.38 Makroskopische Berechnungen Planfall 10:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.39 Makroskopische Berechnungen Planfall 10:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.40 Makroskopische Berechnungen  
Eingangsdaten MaaS-Szenarien
- Anlage 1.41 Makroskopische Berechnungen MaaS -Szenario 5%:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.42 Makroskopische Berechnungen MaaS -Szenario 5%:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.43 Makroskopische Berechnungen MaaS -Szenario 20%:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.44 Makroskopische Berechnungen MaaS -Szenario 20%:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.45 Makroskopische Berechnungen MaaS -Szenario 30%:  
Verkehrsbelastung DTVw
- Anlage 1.46 Makroskopische Berechnungen MaaS -Szenario 30%:  
Differenzbelastung DTVw
- Anlage 1.47 Markierungsplan (Prinzipskizze) Planfall 05
- Anlage 1.48 Regelquerschnitt (Prinzipskizze) Planfall 05

## **Verkehrliche Wirkungen - Mikroskopische Berechnungen**

- Anlage 2.1 Mikroskopische Berechnungen:  
Umgriff Simulationsnetz
- Anlage 2.2 Mikroskopische Berechnungen Ausschnitt:  
Vissim-Netzmodell
- Anlage 2.3 Mikroskopische Berechnungen Bezugsfall:  
Morgen - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.4 Mikroskopische Berechnungen Bezugsfall:  
Abend - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.5 Mikroskopische Berechnungen Bezugsfall:  
Morgen - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.6 Mikroskopische Berechnungen Bezugsfall:  
Abend - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.7 Mikroskopische Berechnungen Szenario 1:  
Morgen - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.8 Mikroskopische Berechnungen Szenario 1:  
Abend - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.9 Mikroskopische Berechnungen Szenario 1:  
Morgen - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.10 Mikroskopische Berechnungen Szenario 1:  
Abend - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.11 Mikroskopische Berechnungen Szenario 2:  
Morgen - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.12 Mikroskopische Berechnungen Szenario 2:  
Abend - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.13 Mikroskopische Berechnungen Szenario 2:  
Morgen - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.14 Mikroskopische Berechnungen Szenario 2:  
Abend - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.15 Mikroskopische Berechnungen Szenario 3:  
Morgen - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.16 Mikroskopische Berechnungen Szenario 3:  
Abend - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.17 Mikroskopische Berechnungen Szenario 3:  
Morgen - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.18 Mikroskopische Berechnungen Szenario 3:  
Abend - relative Geschwindigkeitsabweichung

- Anlage 2.19 Mikroskopische Berechnungen Szenario 4:  
Morgen - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.20 Mikroskopische Berechnungen Szenario 4:  
Abend - mittlere Geschwindigkeit
- Anlage 2.21 Mikroskopische Berechnungen Szenario 4:  
Morgen - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.22 Mikroskopische Berechnungen Szenario 4:  
Abend - relative Geschwindigkeitsabweichung
- Anlage 2.23 Mikroskopische Berechnungen: Zusammenfassung Ergebnisse  
Simulationsauswertung mittlere Geschwindigkeit



## Umweltwirkungen - Immissionsberechnungen

Anlage 3.1	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Modellumgriff
Anlage 3.2	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Reference scenario	PF00 2017 Istzustand
Anlage 3.3	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Natürliche Flottenentwicklung	PF00 2019
Anlage 3.4	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] VDA-Annahmen zur Flottenentwicklung	PF00 2019
Anlage 3.5	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2021	PF00 2021
Anlage 3.6	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] VDA-Annahmen zur Flottenentwicklung	PF00 2021
Anlage 3.7	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2017	PF01 2017
Anlage 3.8	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2019	PF01 2019
Anlage 3.9	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] VDA-Annahmen zur Flottenentwicklung	PF01 2019
Anlage 3.10	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2017	PF02 2017
Anlage 3.11	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2019	PF02 2019
Anlage 3.12	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] VDA-Annahmen zur Flottenentwicklung	PF02 2019
Anlage 3.13	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2017	PF03 2017
Anlage 3.14	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2017	PF04 2017
Anlage 3.15	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2017	PF05 2017
Anlage 3.16	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] Flotte HBEFA 2019	PF05 2019
Anlage 3.17	Immissionsberechnungen NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] VDA-Annahmen zur Flottenentwicklung	PF05 2019
Anlage 3.18	Locations from buildings above 40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> PF00, 2017 Reference scenario	

- Anlage 3.19 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF00, 2019 HBFA\_original
- Anlage 3.20 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF00, 2019 HBFA\_modification
- Anlage 3.21 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF00, 2021 HBFA\_original
- Anlage 3.22 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF00, 2021 HBFA\_modification
- Anlage 3.23 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF01, 2017 HBEFA\_original
- Anlage 3.24 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF02, 2017 HBEFA\_original
- Anlage 3.25 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF03, 2017 HBEFA\_original
- Anlage 3.26 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF04, 2017 HBEFA\_original
- Anlage 3.27 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF05, 2017 HBEFA\_original
- Anlage 3.28 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF05, 2019 HBEFA\_original
- Anlage 3.29 Locations from buildings above 40 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>  
PF05, 2019 HBEFA\_modification