



Foto: chrissi / depositphotos.com

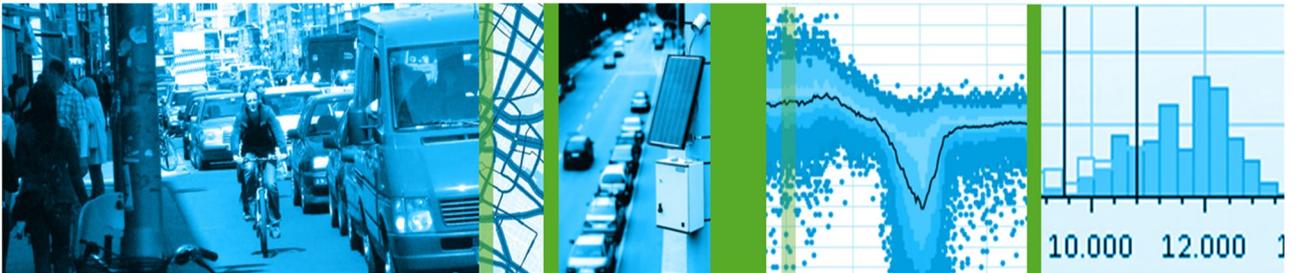
BERECHNUNG DER LUFTSCHADSTOFFBELASTUNGEN AN HAUPTVERKEHRSSTRAßEN

Ergebnisdokumentation

Senatsverwaltung
für Mobilität, Verkehr,
Klimaschutz und Umwelt

BERLIN





Berechnung der Luftschadstoffbelas- tungen an Hauptverkehrsstraßen

Ergebnisdokumentation

Version 2.0 vom 29.06.2023

Ergebnisdokumentation

Erarbeitet für:



Senatsverwaltung für Mobilität, **Verkehr**, Klimaschutz **und Umwelt** - Referat Immissionsschutz
Brückenstraße 6
10179 Berlin

- im Folgenden "Auftraggeber" oder "AG" genannt -

Erarbeitet durch:



VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH
Ullsteinstraße 120, Turm C
12109 Berlin

In Zusammenarbeit mit:



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

- im Folgenden „Auftragnehmer“ oder „AN“ genannt

Inhalt

Inhalt	2
1 Zielsetzung und Vorgehensweise	3
2 Verkehrliche Grundlagen	5
2.1 Verkehrsmengen 2019	6
2.2 Verkehrsqualität 2019	6
2.3 Verkehrsmengen 2021 (ausgewählte Abschnitte)	8
2.4 Verkehrsqualität 2021	11
3 Vergleich und Evaluation der Verkehrsdaten 2019/2021	12
3.1 Vergleich der Veränderung der Verkehrsstärke 2019/2021 aus lokaler Detektion	12
3.2 Vergleich der Verkehrsqualität in feiner aufgelösten Zeitbereichen 2019/2021	17
3.3 Evaluierung der Methode zur LOS-Ableitung mit dem Fundamentaldiagramm-Ansatz vs. Geschwindigkeitsansatz anhand ausgewählter Abschnitte	24
4 Analyse der Luftbelastung	30
4.1 Methodik	30
4.2 Verkehrsemissionen	37
4.3 Luftschadstoffbelastung mit Verkehrsdaten 2019 (Szenario V19/F21)	38
4.4 Luftschadstoffbelastung für ausgewählte Abschnitte mit Verkehrsdaten 2021 (Szenario V21/F21)	44
4.5 Gegenüberstellung Messung-Modell	48
5 Zusammenfassung	57
Abkürzungen	59
Abbildungsverzeichnis	60
Tabellenverzeichnis	62
Anhang	64
Kartenverzeichnis	64

1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Land Berlin hat mit der 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans¹ im Jahr 2019 umfangreich die luftschadstoffseitige Situation im Straßenverkehr sowie den prognostischen Ausblick bis zum Jahr 2025 beschrieben. Daran anschließend wurden Maßnahmenpakete zur Verbesserung der Luftqualität definiert und bewertet.

Erst nach der Erstellung des Luftreinhalteplans vorliegende Datengrundlagen (z. B. Straßenverkehrszählung 2019, inkl. aktualisierter Umrechnungsfaktoren) konnten noch nicht berücksichtigt werden. Weiterhin wurde zwischenzeitlich das *Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs* (HBEFA) in der aktuellen Version 4.2 veröffentlicht sowie durch das Land Berlin zur Erhebung der Fahrzeugflotte eine Kennzeichenerhebung im Jahr 2021 durchgeführt.

Darüber hinaus konnten externe Einflüsse aufgrund der Corona-Pandemie, insbesondere auf die Verkehrsmengenentwicklung nicht im Luftreinhalteplan abgebildet werden. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Luftschadstoffkonzentrationen (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) für das Berliner Hauptverkehrsstraßennetz unter verkehrlichen vor-Corona-Bedingungen aber mit aktuellen Flotteninformationen zu ermitteln. Deshalb wurden die Verkehrsmengenkarte 2019 und die Flottenzusammensetzung 2021 als Eingangsdaten herangezogen. Es sollte ermittelt werden, ob bei einer "normalen" Verkehrsmenge Grenzwerte überschritten werden, auch wenn sich die mittlere in Berlin verkehrende Kfz-Flotte verbessert hat.

Hierfür wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- In einem ersten Bearbeitungsschritt wurden die aktuell vorliegenden verkehrlichen Grundlagen für eine Nutzung zur netzbezogenen Luftschadstoffberechnung analysiert und aufbereitet (vgl. Kapitel 2). Hierzu gehören die Verkehrsmengen gesamt und getrennt nach den Fahrzeugkategorien nach HBEFA (vgl. Kap.2.1) sowie der Verkehrszustand nach HBEFA² des Jahres 2019 (vor der Corona-Pandemie) sowie des Jahres 2021 (während des Pandemiegeschehens).
- In einem zweiten Bearbeitungsschritt erfolgte ein statistischer Vergleich der Betrachtungsjahre 2019 und 2021 hinsichtlich der Veränderung der Verkehrsmengen und der Verkehrsqualität. Abschließend wird in diesem Schritt eine Evaluierung der messwertbasierten Methode zur Ableitung des Level of Service (LOS) vorgenommen (vgl. Kapitel 3).
- In einem dritten Arbeitsschritt erfolgte die Analyse der Luftschadstoffbelastung (vgl. Kapitel 4). Dazu wurde einmal die verkehrliche Datengrundlage für das Bezugsjahr 2019 (Abschnitt 2.1 und 2.2) mit der Zusammensetzung der Kfz-Flotte

¹ Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Hrsg. (2019): Luftreinhalteplan für Berlin – 2. Fortschreibung, Berlin.

² Im Sinne der Verkehrsqualität gem. Level Of Service (vgl. Kapitel 2.2).

für das Bezugsjahr 2021 (Abschnitt 4.1.5) verwendet, was im Folgenden als Szenario V19/F21³ bezeichnet wird, und daran anschließend für ausgewählte Straßenabschnitte ein sogenanntes Szenario V21/F21⁴ berechnet, bei dem die verkehrliche Datengrundlage durch entsprechende Daten für das Bezugsjahr 2021 ersetzt wurde (siehe Abschnitt 2.3 und 2.4). Dieses Szenario repräsentiert das Emissionsniveau im Jahr 2021 mit den pandemiebedingten Verkehrsrückgängen.

- Für die o.g. Szenarien wurden die Emissionen des Kfz-Verkehrs auf dem Berliner Hauptverkehrsstraßennetz je Streckenabschnitt für NO_x, NO₂, PM₁₀ und PM_{2.5} nach der Methodik des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA) in der aktuellen Version 4.2 mit IMMIS^{em} berechnet.
- Aufbauend auf den Emissionsberechnungen wurden mit dem Screeningmodell IMMIS^{luft} die verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen für beide Szenarien bestimmt. Die Ergebnisse der Screeningberechnungen wurden entsprechenden Messergebnissen gegenübergestellt.

³ Verkehrsmenge 2019 und Fahrzeugflotte 2021

⁴ Verkehrsmenge 2021 und Fahrzeugflotte 2021

2 Verkehrliche Grundlagen

Die Netzgrundlage für die Berechnungen ist das für die Lärmkartierung Berlins definierte Umweltnetz 2022, das eine Teilmenge des Detailnetzes des Landes Berlin⁵ in Version 6.0 ist (vgl. Abbildung 1). Die gerichtete Netzlänge des Umweltnetzes beträgt 3.234 km und bildet im Wesentlichen das übergeordnete Straßennetz Berlins ab.



Abbildung 1 Umweltnetz Berlin 2022

Die für die Luftschadstoffberechnungen benötigten verkehrlichen Grundlagen wurden am Umweltnetz aufbereitet und der IVU Umwelt als ESRI Shape-Datei übergeben. Zu diesen Grundlagen gehören neben den Verkehrsmengen und der Verkehrssituation auch Informationen zu Straßentypen, Anzahl Fahrstreifen, Lage, Einbahnstraßen und zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.

⁵ abrufbar unter: https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp?loginkey=zoomStart&mapId=k_vms_detail-netz_wms_spatial@senstadt&bbox=388592,5818621,394699,5822439

2.1 Verkehrsmengen 2019

Im Rahmen der Umgebungslärmkartierung 2022 wurden bereits die Verkehrsdaten nach Fahrzeugkategorien auf Basis der Straßenverkehrszählung (SVZ) 2019 aufbereitet. Hierzu gehörte auch die Umrechnung der jeweiligen *Durchschnittlichen Täglichen Verkehrsstärken an Werktagen* (Mo-Fr, DTVw) in *Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärken* (Mo-So, DTV), welche für die Luftschadstoffberechnungen notwendig sind. Für dieses Netz lagen somit die Verkehrsmengen 2019 zum Projektbeginn bereits im DTV einschließlich der Fahrleistung getrennt nach Fahrzeugtypen vor:

Fahrzeugart	Fahrleistung HVS [Mio. Fzg*km/a]	Fahrleistung NN [Mio. Fzg*km/a]
Gesamt	9.970,1	1.099,9
Pkw	7.984,5	880,0
Leicht Nutzfahrzeuge	1.276,3	140,8
Krafträder	202,8	27,7
Lkw	365,7	27,0
Linienbusse	108,5	19,5
Reisebusse	32,3	4,9

Tabelle 1: Fahrleistung 2019

Diese Aufteilung entspricht damit den im HBEFA vorgegebenen Fahrzeugkategorien.

2.2 Verkehrsqualität 2019

Die Ableitung der Verkehrsqualität für das Betrachtungsjahr 2019 basiert auf netzweiten Verkehrsmessdaten (Geschwindigkeitsinformationen) aus historischen Floating Car Data (FCD) des Jahres 2019 der Firma TomTom. Aus diesen Daten erfolgte die Ableitung der HBEFA-Verkehrszustände (hier synonym als Level of Service, LOS, bezeichnet).

Zunächst wurden den zu betrachtenden Streckenabschnitten die HBEFA-konformen Attribute Gebietstyp, Straßentyp und zulässige Höchstgeschwindigkeit zugeordnet.

Die Berechnungen erfolgten nach HBEFA 4.2 mit seinen fünf Verkehrszuständen durch Zuordnung der FCD-Reisegeschwindigkeiten des Jahres 2019 zu den mittleren Geschwindigkeiten der HBEFA-Verkehrszustände. Hierfür wurden abschnittsweise lineare Zuordnungsfunktionen gebildet, in die die fünf mittleren Geschwindigkeiten der Verkehrszustände unter Berücksichtigung von Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit einfließen. Das Prinzip ist in Abbildung 2 dargestellt.

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

Ein Geschwindigkeitswert aus den FCD wird somit anteilig zu den fünf Verkehrszuständen zugeordnet, wobei sich diese Anteile in Summe zu 100 % addieren. Unter Berücksichtigung der Verteilung der Geschwindigkeiten je Netzabschnitt, die in Form von Perzentilen vorliegt, ergibt sich hieraus eine Aufteilung der Verkehrsstärken auf die fünf Verkehrszustände.

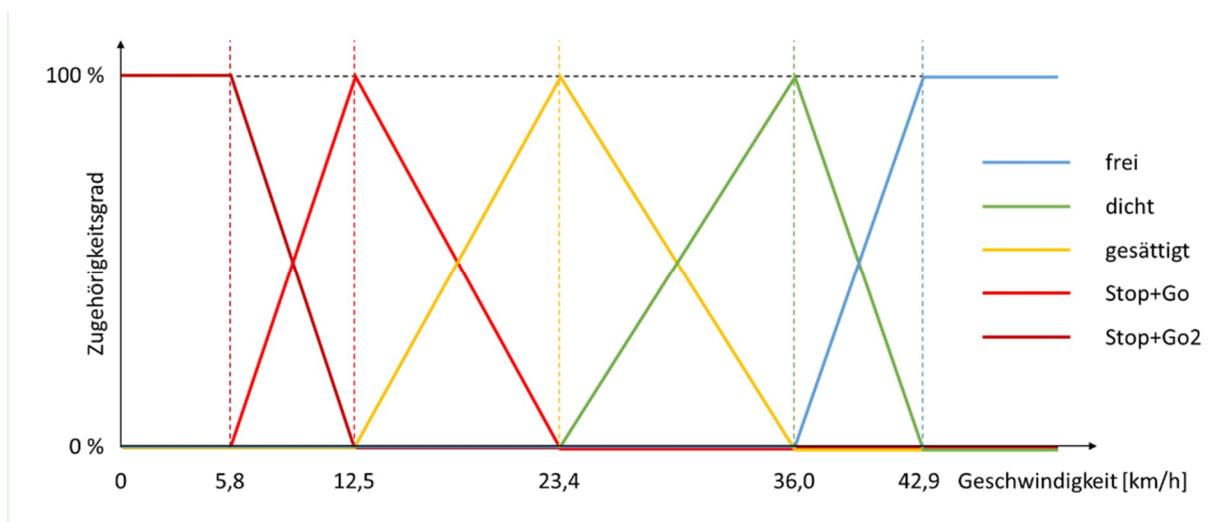


Abbildung 2 Beispiel für abschnittsweise lineare Zuordnungsfunktionen (Fahrzeugkategorie PKW, HVS, 50 km/h)

Für die Berechnung des Verkehrszustandes nach HBEFA 4.2 wurden die Informationen zu Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit am TomTom-Netz aufbereitet. Die Geschwindigkeiten für das Jahr 2019 wurden anhand einer Liste von Anordnungen ermittelt, die durch SenUMVK Abt. VI bereitgestellt wurde. Dabei wurde auch denjenigen Abschnitten die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h zugeordnet, auf denen nur tagsüber oder auf einem Teilstück diese Geschwindigkeitsbeschränkung angeordnet ist.

Die der anschließenden Berechnung des Verkehrszustandes zugrundeliegende Zuordnung der Geschwindigkeitsprofile zu den fünf LOS-Klassen hat sich im HBEFA 4.2 gegenüber HBEFA 4.1 nicht verändert.

Um die Ergebnisse der LOS-Berechnung an das Umweltnetz zu übertragen, wurde eine Referenz zwischen dem TomTom-Netz (Grundlage der Geschwindigkeitsinformationen) und dem Umweltnetz (Zielnetz) auch unter Berücksichtigung von Überlappungsanteilen zwischen den Netzen, zur Ermöglichung einer nach Längenanteil gewichtete Übertragung der Daten an das Umweltnetz, erstellt.

Für einige Abschnitte des Umweltnetzes konnte kein LOS berechnet werden, da für das Jahr 2019 keine Geschwindigkeitsdaten von TomTom vorlagen. Gründe dafür sind überwiegend Sperrungen durch Baustellen oder geänderte Einbahnstraßenregelungen. In diesen Fällen wurde der LOS mittels Analogieschluss aus vergleichbaren Abschnitten im direkten Umfeld ergänzt. Im Ergebnis liegen für jeden Abschnitt des Umweltnetzes richtungsbezogene Mengen-Anteile für die fünf LOS-Klassen (Verkehrszustände)

- LOS 1: flüssig
- LOS 2: dicht
- LOS 3: gesättigt
- LOS 4: Stop+Go
- LOS 5: Stop+Go2 vor.

In Karte 1 im Anhang ist der Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go und Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke für das Jahr 2019 netzweit dargestellt.

2.3 Verkehrsmengen 2021 (ausgewählte Abschnitte)

Teil der vorliegenden Untersuchung ist die Nutzung von Verkehrsdaten des Jahres 2021 zur näherungsweise Bestimmung der Luftschadstoffsituation an ausgewählten Abschnitten des Untersuchungsnetzes und zur Analyse der Veränderung der Verkehrssituation zwischen 2019 und 2021.

Zur Ableitung der Verkehrsmengen steht im Hauptverkehrsstraßennetz des Landes Berlin ein Messstellennetz lokaler Detektion zur Verfügung. Darüber hinaus steht ein kontinuierlich betriebenes Berechnungssystem zur Fortschreibung der lokalen Verkehrsstärkedaten zu netzweiten Verkehrsstärken im Verkehrslagenetz (Teilnetz des Detailnetzes des Landes Berlin) unter Verwendung eines Verkehrsmodells zur Verfügung. Das hierfür eingesetzte makroskopische Verkehrsmodell ist sowohl hinsichtlich der Tagestypen als auch hinsichtlich der Stunden des Tages differenziert. Abgebildet sind vier Tagestypen (Montag–Donnerstag, Freitag, Samstag inkl. Brückentage und Sonntage inkl. Feiertage) sowie jeweils 24 Stunden. Hieraus resultieren 96 verschiedene Nachfragematrizen innerhalb des Modells.

Dem Netzmodell sind darüber hinaus diejenigen lokalen Messquerschnitte zugeordnet, die über eine richtungsbezogen vollständige und geeignete Erfassung der Kfz-Verkehrsstärken verfügen. Diese Messdaten dienen dazu, die Modellrechnungsergebnisse aus dem Verkehrsmodell für die individuellen Stunden zu kalibrieren. Hierbei werden nicht nur die Streckenabschnitte angepasst, an denen sich die Messquerschnitte unmittelbar befinden, sondern die gesamten Teilströme, die über diesen detektierten Abschnitt fließen mit ihren davor und danach liegenden Netzabschnitten von der Quelle bis zur Senke. Hierbei handelt es sich um ein iteratives Optimierungsverfahren zur Matrixkalibrierung. Im Ergebnis steht ein Netzausgleich, der an den Detektionsstellen für Ergebnisse sorgt, die zwar nicht exakt identisch mit der Detektion, aber zumindest ähnlich und im Netzzusammenhang plausibel sind.

Für den Fall des Ausfalls von einzelnen Messquerschnitten stehen somit die übrigen Messdaten und die nicht kalibrierten Grundwerte zur Verfügung. Damit wird sichergestellt, dass für alle Tage und alle Stunden grundsätzlich eine Berechnung durchgeführt wird, deren Qualität mit zunehmender Anzahl an stützenden Messwerten aus der lokalen Detektion zunimmt. Einschränkungen durch Sperrungen werden im Netzmodell berücksichtigt, andere Einschränkungen werden durch die Messwerte der lokalen Verkehrsdetektion in das Modell eingebracht.

Für die Ermittlung der Verkehrsmengen des Jahres 2021 wurden 36 Streckenabschnitte und deren „Umfeldnetz“ (200 km gerichtete Netzlänge) in Abstimmung mit SenUMVK, Abt. I ausgewählt. Diese Abschnitte wurden u. a. nach dem Kriterium der Verfügbarkeit lokaler Detektion am Abschnitt oder im Umfeld bestimmt. Die Untersuchungsabschnitte und das Umfeldnetz sind in der folgenden Abbildung 3 dargestellt.

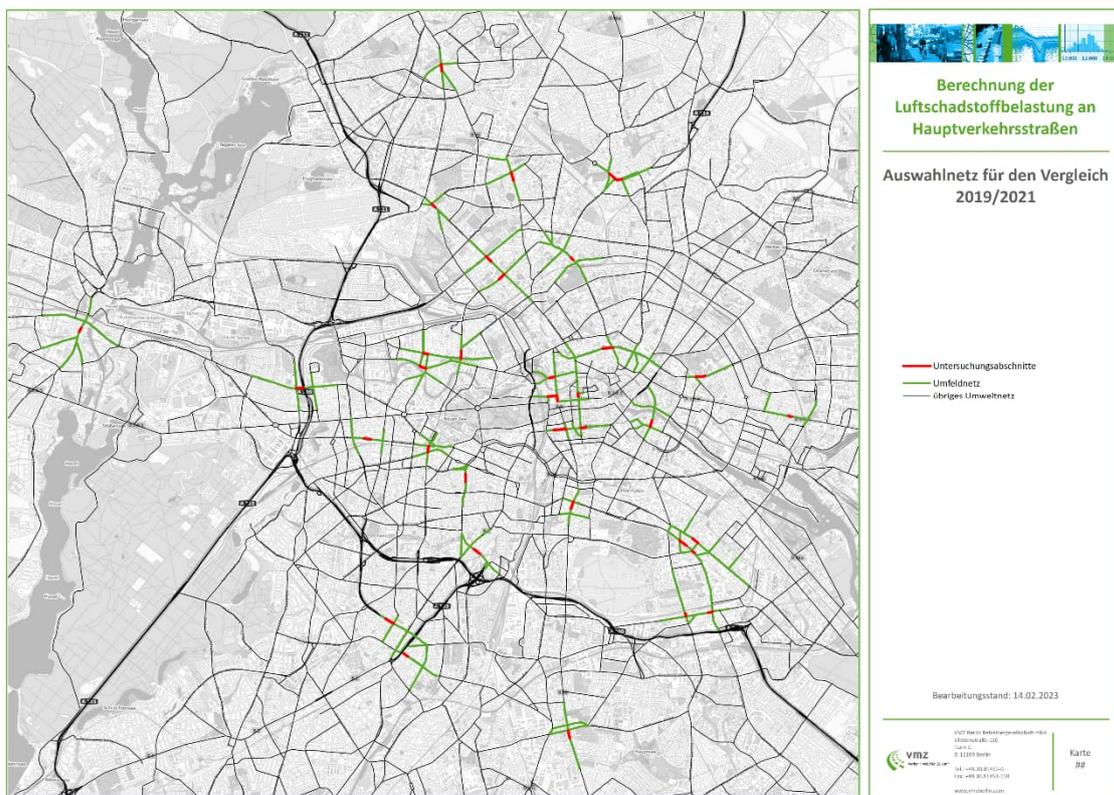


Abbildung 3 Auswahlnetz für den Vergleich 2019/2021

Sofern für die 36 Abschnitte Daten aus der Detektion existieren, wurden diese für die Ableitung der Verkehrsmengen 2021 verwendet, andernfalls wurden die Daten aus dem Archiv der netzweiten Verkehrsstärkeberechnung herangezogen.

Unabhängig von der Datenquelle wurde für die Untersuchungsabschnitte die prozentuale Veränderung der Verkehrsstärke 2019 zu 2021 ermittelt. Diese prozentuale Veränderung wurde auf den Wert der Verkehrsmengenkarte 2019 (umgerechnet auf DTV) angewendet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt und wurden als Eingangsdaten für die Berechnung des Szenarios V21/F21 an IVU Umwelt übergeben.

ID	Straßenname	FR	Verkehrsmengen- karte 2019		Verkehrsmengen 2021				Veränderung DTV	
			DTV R	DTV L	DTV R	DTV L	Quelle DTV R	Quelle DTV L	Diff DTV R	Diff DTV L
A	Kantstr.	O	10.220	10.220	7.020	7.061	Modell	Modell	- 3.200	- 3.159
B	Schildhornstr.	SO	14.480	14.480	13.870	13.105	Modell	Detektion	- 610	- 1.375
C	Stromstr.	N	14.160	14.160	11.984	10.750	Detektion	Detektion	- 2.176	- 3.410
D	Leipziger Str. (westl. Wilhelmstr.)	O	19.170	19.170	17.048	16.607	Modell	Modell	- 2.122	- 2.563
D	Leipziger Str. (östl. Friedrichstr.)	O	20.970	20.970	17.487	17.344	Modell	Modell	- 3.483	- 3.626
E	Silbersteinstr.	O	5.960	5.960	4.906	5.839	Modell	Modell	- 1.054	- 121
F	Mariendorfer Damm	S	20.200	20.200	17.340	17.856	Detektion	Detektion	- 2.860	- 2.344
G	Frankfurter Allee	O	19.890	19.890	16.885	17.466	Modell	Detektion	- 3.005	- 2.424
H	Landsberger Allee	O	15.630	15.630	14.834	14.834	Modell	Modell	- 796	- 796
I	Torstr.	O	11.390	11.390	9.769	9.466	Modell	Modell	- 1.621	- 1.924
J	Martin-Luther-Str.	N	16.150	16.150	13.325	14.050	Modell	Modell	- 2.825	- 2.100
1	Mehringdamm	N	19.060	19.060	18.026	18.096	Modell	Modell	- 1.034	- 964
2	Spandauer Damm	O	26.510	26.510	24.914	24.721	Modell	Modell	- 1.596	- 1.789
3	Sonnenallee	SO	9.580	9.580	8.375	7.980	Modell	Modell	- 1.205	- 1.600
4	Badstr.	SO	16.530	16.530	18.077	16.812	Modell	Modell	1.547	282
5	Hermannstr.	S	12.170	12.170	10.058	10.980	Modell	Modell	- 2.112	- 1.190
6	Alt-Moabit	SO	11.850	11.850	9.303	10.362	Modell	Modell	- 2.547	- 1.488
7	Brückenstr.	N	7.260	7.260	6.211	6.908	Modell	Modell	- 1.049	- 352
8	Reinhardtstr.	NO	4.680	4.680	3.547	3.992	Modell	Modell	- 1.133	- 688
9	Friedrichstr.	S	4.950	4.950	4.494	4.098	Modell	Modell	- 456	- 852
13	Albrechtstr.	SO	5.680	5.680	5.105	5.043	Modell	Modell	- 575	- 637
14	Breite Str.	O	15.070	15.070	14.182	11.969	Modell	Modell	- 888	- 3.101
15	Dominicusstr.	SO	11.880	11.880	10.343	10.712	Modell	Modell	- 1.537	- 1.168
16	Dorotheenstr.	O	4.540	4.540	4.239	3.547	Modell	Modell	- 301	- 993
17	Joachimsthaler Str.	N	11.350	11.350	10.121	8.466	Modell	Modell	- 1.229	- 2.884
18	Luxemburger Str.	NO	10.850	10.850	9.596	8.436	Modell	Modell	- 1.254	- 2.414
19	Müllerstr.	SO	12.210	12.210	9.494	10.347	Modell	Modell	- 2.716	- 1.863
20	Oranienburger Str.	S	9.670	9.670	11.780	8.990	Modell	Modell	2.110	- 680
21	Residenzstr.	S	15.160	15.160	14.635	14.630	Modell	Modell	- 525	- 530
22	Scharnweberstr.	SO	18.940	18.940	16.159	16.591	Modell	Modell	- 2.781	- 2.349
23	Schönholzer Str.	SO	10.170	10.170	9.406	8.476	Modell	Modell	- 764	- 1.694
24	Turmstr.	O	7.810	7.810	5.968	6.085	Modell	Modell	- 1.842	- 1.725
25	Wilhelmstr. (Mitte)	S	4.860	4.860	4.130	3.574	Modell	Modell	- 730	- 1.286
26	Karl-Marx-Str.	SO	9.170	9.170	11.958	8.475	Modell	Modell	2.788	- 695
27	Karl-Marx-Str.	SO	7.350	7.350	9.545	6.956	Modell	Modell	2.195	- 394
28	Klosterstr.	NO	15.980	15.980	14.211	14.276	Modell	Modell	- 1.769	- 1.704

Tabelle 2 Verkehrsmengen 2019/2021 für die Auswahlabschnitte

2.4 Verkehrsqualität 2021

Zu den verkehrlichen Grundlagen für die Berechnung des Szenarios V21/F21 der Luftschadstoffberechnung 2021 gehören neben den Verkehrsmengen (s. Kapitel 2.3) auch die HBEFA-Verkehrszustände für das Jahr 2021. Diese wurden für die 36 ausgewählten Abschnitte sowie das Umfeldnetz berechnet.

Die Basis dafür waren statistische Daten zur Geschwindigkeitsverteilung 2021 aus Floating Car Data der Firma TomTom. Die HBEFA-Codierung, insbesondere die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und der Straßentyp, wurden auf den Stand 2021 angepasst.

Die Ergebnisse der Berechnung für die LOS 4 und LOS 5 (sog. „Stau-LOS“) sind in Karte 2 im Anhang dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit ist auch der Stau-LOS für das Jahr 2019 für das Umfeldnetz abgebildet (vgl. Karte 3 im Anhang).

3 Vergleich und Evaluation der Verkehrsdaten 2019/2021

Neben der in Kapitel 4 dargestellten Berechnung der Luftschadstoffbelastung für die Verkehrsmengen 2019 (Szenario V19/F21)) wurde auch das Szenario V21/F21 zur näherungsweisen Berechnung der Luftschadstoffbelastung 2021 an ausgewählten Abschnitten erzeugt. Für diesen wurden wie in Kapitel 2 beschrieben die verkehrlichen Eingangsdaten Verkehrsmenge und Verkehrsqualität für die ausgewählten Abschnitte bereitgestellt. Da die verkehrliche Situation im Jahr 2021 in Folge der Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie teilweise beeinflusst war, werden im Folgenden zur Einordnung der Ergebnisse der Luftschadstoffberechnung Vergleiche der verkehrlichen Eingangsdaten zwischen den Jahren 2019 und 2021 durchgeführt. Kapitel 3.1 stellt Vergleiche der Verkehrsstärke dar, Kapitel 3.2 Vergleiche der Verkehrsqualität.

Im sich anschließenden Kapitel 3.3 werden die damit verfügbaren verkehrlichen Eingangsdaten genutzt und die beiden verwendeten Methoden zur Ableitung von LOS (nach dem *Fundamentaldiagramm-Ansatz* und dem *Geschwindigkeitsansatz*) gegenüberzustellen und zu bewerten.

3.1 Vergleich der Veränderung der Verkehrsstärke 2019/2021 aus lokaler Detektion

Im folgenden Abschnitt soll die Verkehrsentwicklung zwischen 2019 und 2021 anhand von Messwertvergleichen lokaler Detektion mit dem Zweck der Ableitung von generalisierten Aussagen zur Verkehrsstärkeentwicklung betrachtet werden. Hierfür werden ausgewählte Abschnitte mit verfügbarer lokaler Detektion herangezogen, eine Einzelbewertung der Abschnitte ist nicht Gegenstand der vorliegenden Auswertung.

Für den Vergleich der Veränderung der Kfz-Verkehrsstärken wurden im ersten Schritt die verfügbaren Messstellen hinsichtlich ihrer Datenverfügbarkeit analysiert. Einerseits sind nicht an allen Streckenabschnitten des Betrachtungsnetzes Messstellen verfügbar, andererseits besteht für die geplante Analyse die Anforderung einer hinreichenden⁶ Datenverfügbarkeit sowohl für das Jahr 2019 als auch für 2021.

Zur Berechnung der Tagesverkehrsstärken aus den als Rohdaten der Detektion vorliegenden 5-Minuten-Werte wurden zunächst Stundenwerte gebildet. Hierfür wurden nur die Stunden verwendet, in denen mindestens 75 % der 5-Minuten-Werte vorlagen. Für die nicht vollständig verfügbaren Stundenwerte erfolgte eine Ersatzwertbildung über einen Tagegruppenansatz, der im Folgenden näher beschrieben ist.

⁶ Für die Analyse wurde die Verfügbarkeit von Tagesverkehrsstärken für mindestens 70 % der Tage des Jahres vorausgesetzt.

Zur Ersatzwertbildung wurden die Tage des Kalenderjahres in Gruppen ähnlicher Tage untergliedert. Ähnlich bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Verteilung der Tagesverkehrsstärken über alle berücksichtigten Messquerschnitte hinweg ähnlich hinsichtlich der Höhe und der relativen Unterschiede untereinander ist. Hierzu wurde die Methode der Clusteranalyse (nach Ward) auf Messdaten der Jahre 2019 und 2021 angewendet.

Für die Clusteranalysen wurden die Messdaten von ca. 250 (2019) bzw. ca. 230 (2021) Messstellen im Berliner Stadtgebiet verwendet. In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind die hieraus resultierenden Kalender der Tagestypen mit ähnlicher Verkehrsstärke und Verkehrsstärkeverteilung für die beiden Kalenderjahre dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Verfügbarkeit von Messdaten in den beiden Jahren sind die Klassen innerhalb der Kalender nicht direkt miteinander vergleichbar: den gleichen Clustern liegen zwischen den Kalendern unterschiedliche Daten zugrunde, dies resultiert in unterschiedlichen Klasseneigenschaften.

In den Kalendern zeichnen sich je fünf Tagestypen ab, die sich größtenteils ähnlich verhalten und für das Jahr folgenden Gruppen zugeordnet werden können: Sonn- und Feiertage (dunkelblau), Werktage innerhalb der Ferien (hellblau), Samstag (gelb), Werktage der ersten Jahreshälfte (orange), Werktage der zweiten Jahreshälfte (rot). Diese in der Verkehrsplanung typische Einteilung ist für das Jahr in den Daten des Jahres 2019 erkennbar.

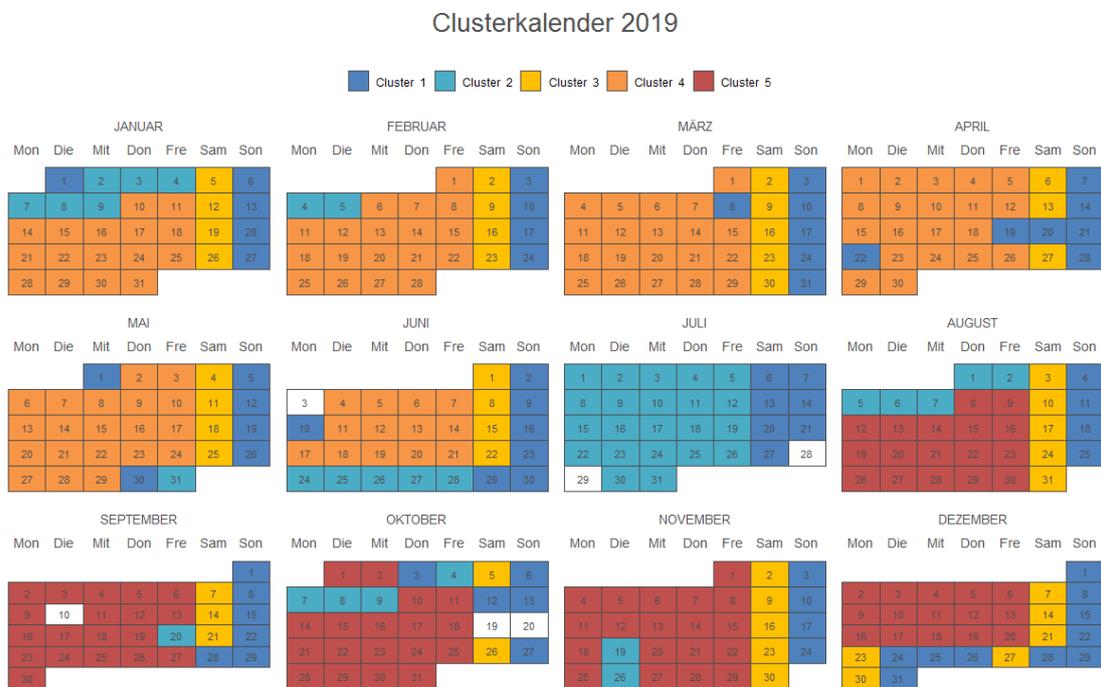


Abbildung 4 Tagestypenkalender auf Basis der Clusteranalyse der Verkehrsstärkedaten des Jahres 2019 (5 Cluster)

Im Jahr 2021 zeigen sich in der folgenden Abbildung dargestellt ebenfalls fünf Tagestypen, wobei deren Zuordnung innerhalb des Jahres vom typischen Verlauf (s. o.) abweicht. Der Jahresverlauf der Verkehrsstärke zeigt sich vermutlich beeinflusst von den Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie: Die Verkehrsstärken der Werktage im Januar und Februar entsprechen eher den Samstags-Verkehrsstärken der zweiten Jahreshälfte. Es ist auch in 2021 eine Veränderung der Verkehrsstärken im Zusammenhang mit dem Ende der Sommerferien sichtbar, jedoch zeigt sich anders als in 2019 kein deutlicher Unterschied zwischen dem Vor-Sommerferien-Zeitraum und den Sommerferien selbst.

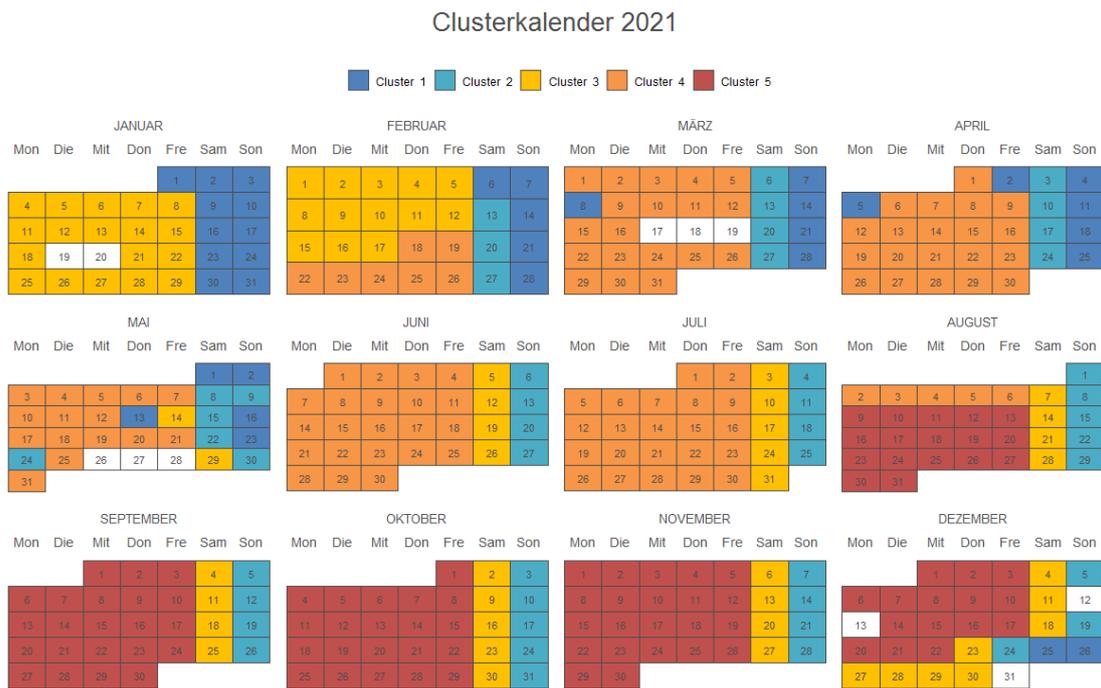


Abbildung 5 Tagestypenkalender auf Basis der Clusteranalyse der Verkehrsstärkedaten des Jahres 2021 (5 Cluster)

Zusammenfassend zeigt sich in diesen Grundlagendaten der Ersatzwertbildung für Messstellendaten bereits eine Veränderung der Verkehrsnachfrage zwischen den Jahren 2019 und 2021, vermutlich bedingt durch die Corona-Pandemie und den Maßnahmen zu deren Bekämpfung.

Anhand der berechneten Tagesverkehrsstärken und mit der Gewichtung der Anzahl der Tage innerhalb der jeweiligen Tagestypen aus dem Ergebnis der Clusteranalyse wurde für jeden Messstandort der lokalen Detektion der DTV für 2019 und 2021 gebildet, einschließlich der heraus resultierenden Ersatzwerte für fehlende Tages-/Stundenwerte. Diese Werte wurden für den Vergleich der beiden Jahre verwendet. In Abbildung 6 und Tabelle 3 sind die berechneten DTV sowie die relative Abweichung dargestellt.

NAME	POSITION	RI	DTV 2019	DTV 2021	rel.Abw.
TE393	Frankfurter Allee	Ost	23.600	17.300	-27%
TE394	Frankfurter Allee	West	21.600	19.000	-12%
TE330	Hermannstraße	Süd	14.000	11.600	-17%
TE352	Leipziger Straße	West	21.600	16.600	-23%
TE353	Leipziger Straße	Ost	17.400	13.700	-21%
TE014	Mariendorfer Damm	Nord	20.400	18.000	-12%
TE530/TE531	Mariendorfer Damm	Südost	22.100	19.500	-12%
TE508	Martin-Luther-Straße	Nord	18.600	13.400	-28%
TE395	Schildhornstraße	West	14.500	13.100	-10%
TE384	Silbersteinstraße	West	5.500	4.900	-11%
TE385	Silbersteinstraße	Ost	6.100	5.600	-8%
TE274	Stromstraße	Süd	12.500	9.500	-24%
TE275	Stromstraße	Nord	12.700	10.800	-15%
TE180	Torstraße	West	12.300	8.400	-32%
TE181	Torstraße	Ost	10.400	7.900	-24%
TE431	Torstraße	Nordwest	16.500	14.000	-15%
TE410	Torstraße	Südost	16.900	13.500	-20%

Tabelle 3 Vergleich DTV 2019 zu DTV 2021 der Kfz-Verkehrsstärke (auf 100 gerundet)

Der zur Ableitung des Datensatzes für das Jahr 2021 verwendete Ansatz der Verkehrsstärkeberechnung (vgl. Kapitel 2.3), unter Einbeziehung der Ergebnisse der netzweiten Verkehrsstärkeberechnung, liefert ein ähnliches Bild wie die Analyse der Verkehrsdetektion. In 2021 liegen die Verkehrsstärken an 67 der 72 Abschnitte (richtungsgetreunt) unterhalb der Verkehrsstärken des Jahres 2019 (vgl. Abbildung 7 und Tabelle 2). Abweichungen hiervon können weitgehend auf Baumaßnahmen zurückgeführt werden, wie im Kapitel 3.2.3 detaillierter dargestellt ist.

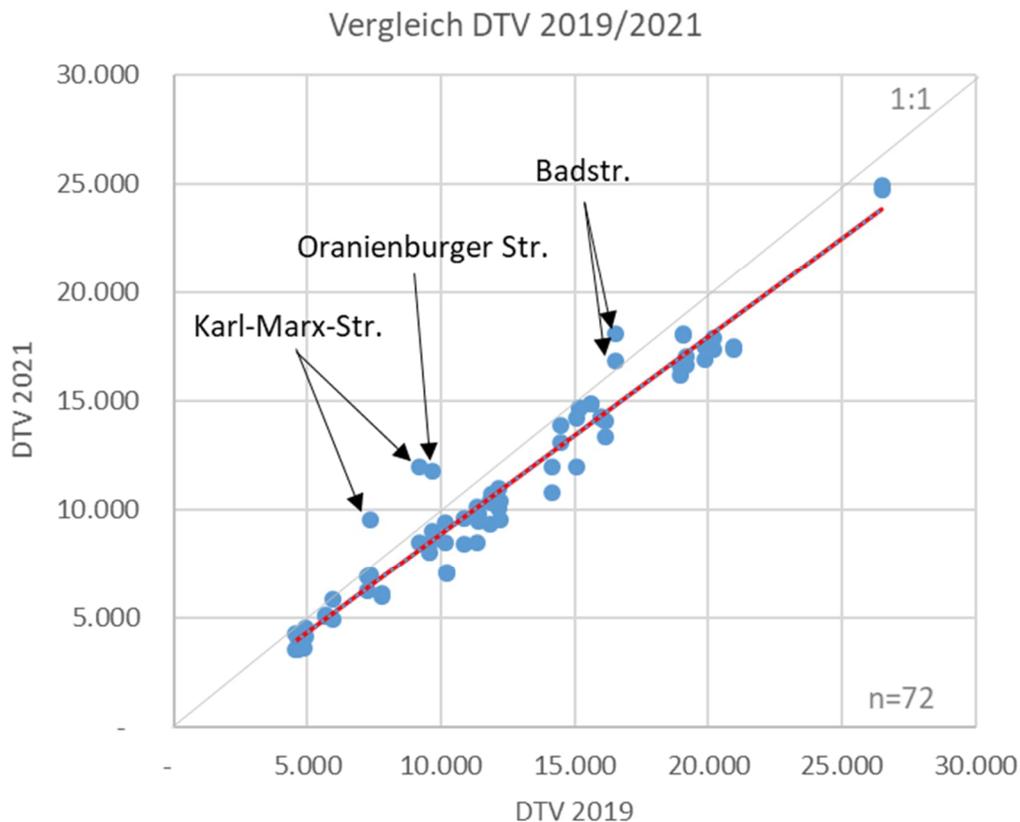


Abbildung 7 Gegenüberstellung des DTV 2019/2021 für ausgewählte Abschnitte (richtungsbezogen⁷)

3.2 Vergleich der Verkehrsqualität in feiner aufgelösten Zeitbereichen 2019/2021

Für das „Umfeldnetz“ wurden die HBEFA-Verkehrszustände 2019 und 2021 – neben der Gesamtjahresbetrachtung – auch für feiner aufgelöste Zeitbereiche berechnet. Es wurde jeweils nach Sommerferien (Mo-So, 0-24 Uhr) und Nicht-Ferientagen (Mo-So, 0-24 Uhr) differenziert. Die Ergebnisse sind in den Karten 5-8 im Anhang dargestellt.

Für einen Vergleich der unterschiedlichen Zeiträume wurden die Anteile der Fahrleistungen (Kfz*km) in den einzelnen LOS-Klassen an der Gesamtfahrleistung für die drei Zeiträume Gesamtjahr, Sommerferien und ohne Ferien für die beiden Betrachtungsjahre 2019 und 2021 berechnet. Auf die Veränderung der einzelnen Anteilswerte wird in den folgenden Unterkapiteln eingegangen. Dabei werden jeweils die „Stau-LOS“ 4 und 5 gemeinsam betrachtet und deren Veränderung in 2021 gegenüber 2019 bewertet.

⁷ Die richtungsbezogene Auswertung der 36 Abschnitte ergibt 72 auswertbare Wertpaare.

Anteil der Fahrleistung auf dem Umfeldnetz je LOS-Klasse						
	2019	2021	2019	2021	2019	2021
	Gesamtjahr	Gesamtjahr	ohne Ferien	ohne Ferien	Sommerferien	Sommerferien
LOS1	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
LOS2	67,8%	67,7%	66,6%	66,9%	70,1%	69,6%
LOS3	14,4%	14,7%	14,9%	15,0%	13,6%	13,7%
LOS4	7,6%	7,6%	8,0%	7,9%	6,7%	7,0%
LOS5	5,2%	5,0%	5,5%	5,2%	4,6%	4,7%

Tabelle 4 Verteilung der Fahrleistungsanteile (Kfz*km) auf die LOS-Klassen 2019/2021

3.2.1 Gegenüberstellung der Verkehrsqualität 2019/2021 (Gesamtjahr)

Bei der Betrachtung der Verteilung der Fahrleistung (Kfz*km) auf die einzelnen LOS-Klassen für die Gesamtjahre 2019 und 2021 (Tabelle 2), ist eine geringe Abnahme beim Stau-LOS 5 (Stop+Go 2) sowie eine geringe Zunahme des LOS 3 (gesättigt) zu erkennen. Abschnittsbezogen kann es dabei durchaus deutliche Veränderungen geben.

Da die Geschwindigkeiten die Eingangsgröße für die LOS Berechnung sind, wurden mit Hilfe eines statistischen Verfahren (T-Test) die Veränderungen der Geschwindigkeiten der Jahre 2019 und 2021 sowie die Zeiträume mit und ohne Ferien je Streckenabschnitt analysiert.

Bei fast 97% war die Veränderung der Geschwindigkeit je Abschnitt unter Betrachtung der Streckenlänge für die Gesamtjahre 2019 und 2021 streng signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%) und dementsprechend auch die LOS Veränderung.

In den Sommerferien war die Veränderung der Geschwindigkeiten der Jahre 2019 und 2021 bei ca. 92% der Abschnitte streng signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%).

Betrachtet man die Geschwindigkeiten der beiden Zeiträume 2019 und 2021 ohne Ferien war die Veränderung bei ca. 96% streng signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit 1%).

In der folgenden Abbildung 8 ist ersichtlich, dass die Fahrleistung in den Stau-LOS 4 und LOS 5 im Jahr 2021 geringer ausfiel als im Jahr 2019. Im Mittel betrug dieser Rückgang rund 5 % gegenüber dem Jahr 2019. Dies könnte auf den durch die Corona-Pandemie bzw. das durch verstärkte Homeoffice-Nutzung bedingten Rückgang der Verkehrsmengen (vgl. Kapitel 3.1) zurückzuführen sein, was sich positiv auf eine Verringerung der Stauanteile auswirkte. In Karte 9 im Anhang sind die Veränderungen des Verkehrszustandes im LOS 4 und LOS 5 für das Gesamtjahr 2021 gegenüber 2019 auf dem „Umfeldnetz“ und deren räumliche Verteilung dargestellt.

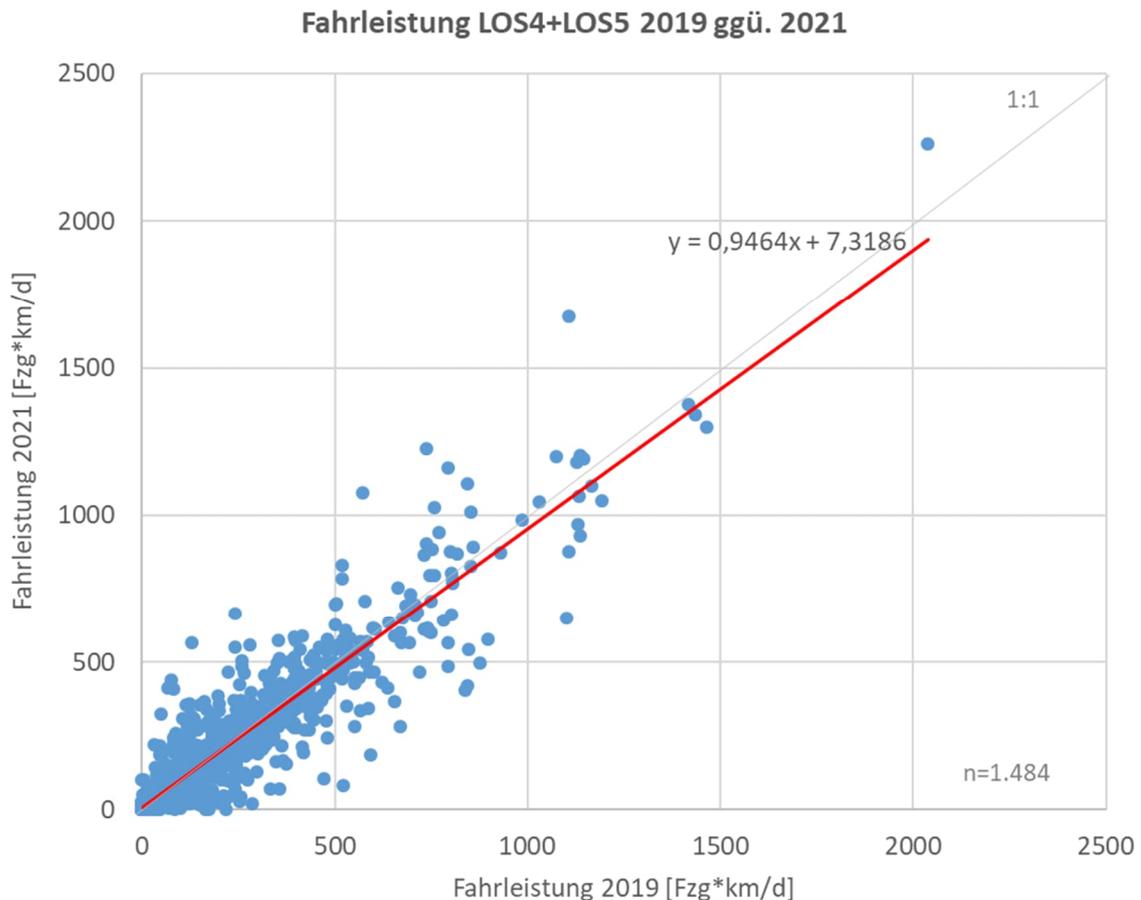


Abbildung 8 Gegenüberstellung der abschnitts- und richtungsbezogene Fahrleistung mit LOS 4 und LOS 5 2019/2021 im Umfeldnetz

Auch der weiterführende Vergleich der Nicht-Ferientage des Jahres 2021 gegenüber 2019 zeigt in 2021 eine Verschiebung von Anteilen aus dem Stau-LOS 4 und LOS 5 in die besseren LOS 3 und LOS 2. Innerhalb der Sommerferien ist diese Tendenz nicht deutlich erkennbar, was darauf zurückzuführen sein kann, dass der Homeoffice-Effekt im Ferienzeitraum weniger Einfluss auf die Gesamtsituation hat.

Wie sich die Veränderungen der Verkehrszustände LOS 4+LOS 5 für die Nicht-Ferientage im Jahr 2021 gegenüber 2019 im „Umfeldnetz“ verteilen, ist in Karte 10 im Anhang dargestellt. Es ist zu erkennen, dass außerhalb der Sommerferien in 2021 gegenüber 2019 weniger Stau vorherrscht. Die Veränderungen innerhalb der Sommerferien 2021 gegenüber 2019 zeigt Karte 11. Hier halten sich Ab- und Zunahmen beim Stau-LOS eher die Waage.

3.2.2 Gegenüberstellung der Verkehrsqualität Nicht-Ferientage/Sommerferien

Der Vergleich der Ferienzeiträume zu den Nicht-Ferientagen beider Jahre (Tabelle 4), zeigt jeweils eine Verschiebung der schlechteren LOS 3 bis LOS 5 hin zum besseren LOS 2. Die Veränderungen des Verkehrszustandes 2019 und 2021 im LOS 4 und LOS 5 in den Sommerferien gegenüber den Nicht-Ferientagen sind in Karte 12 und Karte 13 dargestellt.

Im Jahr 2019 (Abbildung 9) liegen die Anteile der Stau-LOS 4 und LOS 5 außerhalb der Ferien im Mittel um 6 % über den Werten innerhalb der Sommerferien. Im Jahr 2021 (Abbildung 10) sind es hingegen nur 2 % auf insgesamt niedrigerem Stauniveau im Jahr 2021.

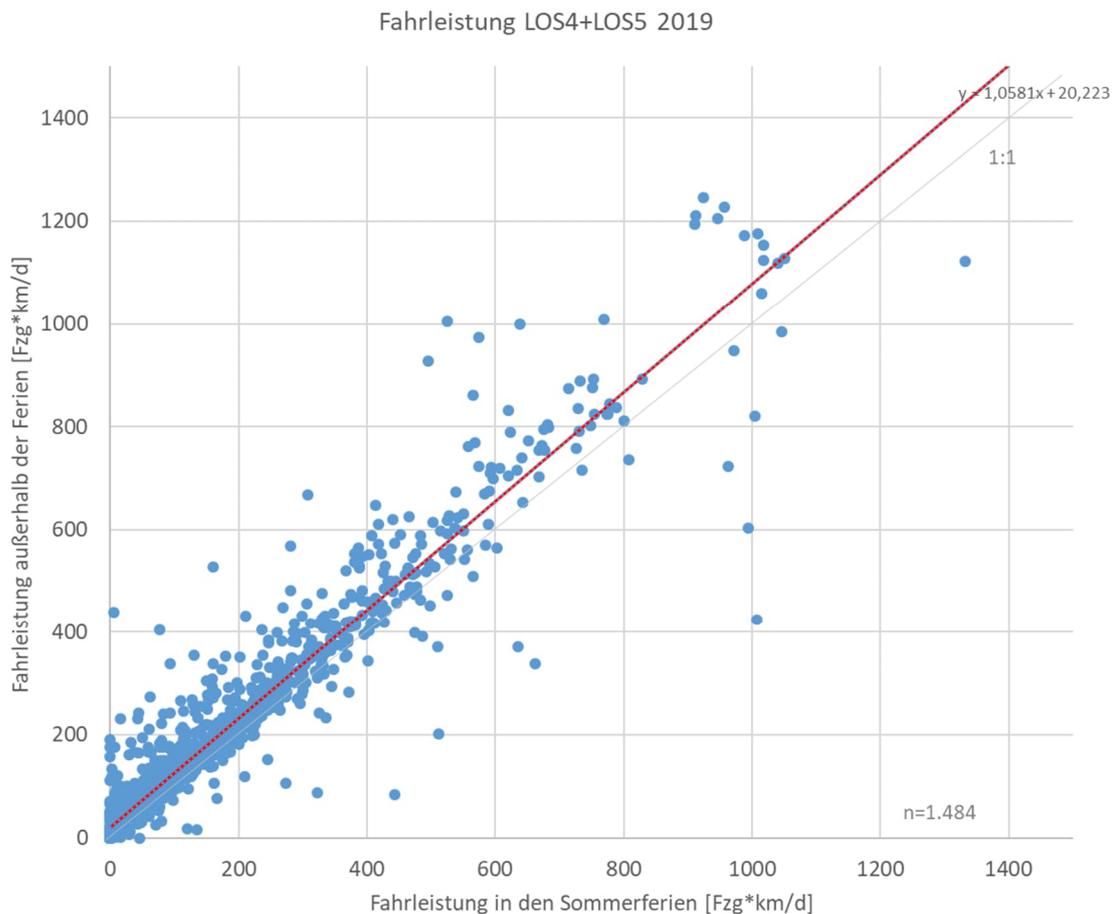


Abbildung 9 Gegenüberstellung der abschnitts- und richtungsbezogenen Fahrleistung mit LOS 4 und LOS 5, Sommerferien zu Nicht-Ferientage 2019 im Umfeldnetz

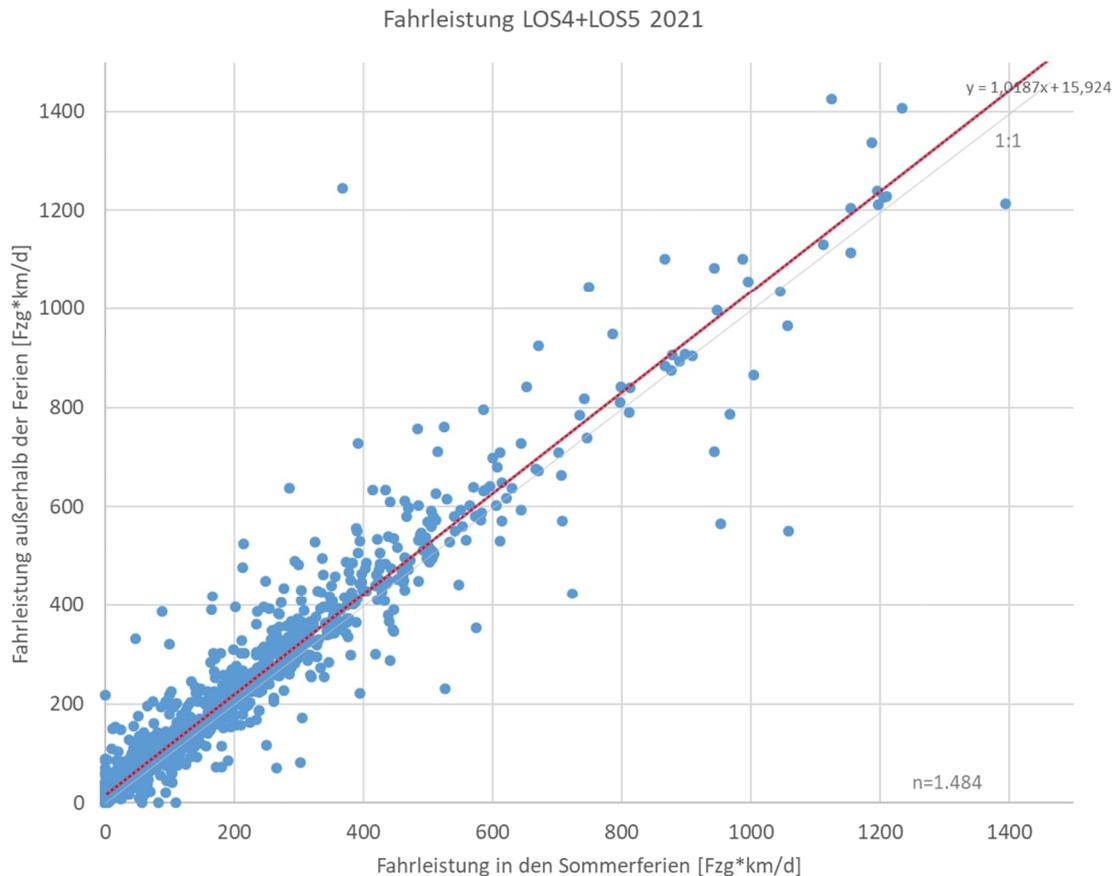


Abbildung 10 Gegenüberstellung der abschnitts- und richtungsbezogenen Fahrleistung im LOS 4 und LOS 5, Sommerferien zu Nicht-Ferientage 2021 im Umfeldnetz

Die bisherigen Analysen haben gezeigt, dass im Jahr 2021 gegenüber 2019 weniger Verkehrsnachfrage bestand. Dies schlug sich in geringeren Verkehrsstärken an allen anhand der Detektion betrachteten Abschnitten nieder. Weiterhin veränderte sich in 2021 die Struktur der Verkehrsnachfrage über das Jahr, wie anhand der Clusteranalysen gezeigt wurde. Innerhalb der Ferien reduzierte sich in beiden Jahren die Verkehrsstärke gegenüber den Nicht-Ferienzeiträumen, jedoch in 2021 geringer als in 2019. Die Verkehrsqualität verbesserte sich 2021, jedoch in geringerem Maße, als anhand der Reduzierung der Verkehrsstärke erwartet. Daher wird im Folgenden eine Betrachtung der Verkehrsqualität anhand der definierten Untersuchungsabschnitte durchgeführt.

3.2.3 Detailanalyse der Verkehrsqualität an ausgewählten Abschnitten

In der folgenden Tabelle 5 sind für die Untersuchungsabschnitte fahrtrichtungsgetrennt die fahrleistungsbezogenen LOS-Anteile der Stau-LOS 4 und LOS 5 für die Betrachtungsjahre 2019 und 2021 sowie ihre Veränderung dargestellt. Insgesamt ist eine Verringerung der Stau-LOS im Jahr 2021 gegenüber 2019 und damit eine Verbesserung der Verkehrssituation sichtbar, jedoch variiert die Höhe der Veränderung deutlich und tritt an

einigen Abschnitten eine Verschlechterung der Verkehrssituation auf. Eine Prüfung der Einzelabschnitte lieferte folgende mögliche Begründungen für die Veränderungen:

- So wurden auf der Kantstraße, der Karl-Marx-Straße und der Frankfurter Allee nach 2019 Fahrradstreifen angelegt, was zum Wegfall eines Kfz-Fahrstreifens führte.
- Auf der Landsberger Allee und der Badstraße kam es zu Fahrstreifenreduzierungen aufgrund von Baustellen.
- Die auf der Friedrichstraße zwischen Französische Straße und Leipziger Straße eingerichtete autofreie Zone (8/2020 bis 10/2021) führte möglicherweise dazu, dass auf der Umfahrung Leipziger Straße im Jahr 2021 höhere Stauanteile zu verzeichnen waren.
- In der Silbersteinstraße führte 2021 ebenfalls eine Baustelle in Fahrtrichtung Ost zu höheren Stauanteilen.
- Das höhere Stauvorkommen im Jahr 2021 in der Sonnenallee könnte mit den Bauarbeiten auf der parallel verlaufenden Karl-Marx-Straße und den daraus resultierenden Ausweichverkehren zusammenhängen.

Auch die überdurchschnittlich hohen Abnahmen des Stau-LOS im Jahr 2021 haben ihre Ursachen in Straßenbaumaßnahmen:

- So gab es in der Friedrichstraße im Jahr 2019 baustellenbedingt nur einen Fahrstreifen pro Richtung, was zu höheren Stauanteilen als im Jahr 2021 führte.
- Auf dem Abschnitt Oranienburger Straße und im Umfeld gab es sowohl 2019 als auch 2021 Straßenbaumaßnahmen mit veränderter Verkehrsführung und Fahrstreifenreduzierung, was zu Verkehrsverlagerungen auf Umfahungsstrecken geführt haben könnte.

Insgesamt zeigt sich bei sinkender Verkehrsstärke in 2021 auch eine Verbesserung der Verkehrssituation gegenüber 2019, wobei die positive Grundtendenz an einigen der betrachteten Abschnitte sowohl aufgrund von Baumaßnahmen bzw. deren Wechselwirkungen als auch aufgrund der Stärkung des Umweltverbundes und der Verkehrssicherheit durch die Ergänzung von Radfahrstreifen auf Kosten der Pkw-Fahrstreifen niedriger ausfällt als ohne diese Maßnahmen zu erwarten gewesen wäre.

ID	Straßenname	RI	LOS 2019		LOS 2021		Veränderung LOS		Anmerkung R	Anmerkung L
			LOS4+ LOS5 R	LOS4+ LOS5 L	LOS4+ LOS5 R	LOS4+ LOS5 L	Diff LOS4+ LOS5 R	Diff LOS4+ LOS5 L		
A	Kantstr.	O	9,2%	14,5%	18,7%	25,5%	9,5%	11,0%	Radstreifen neu (-1 FS)	Radstreifen neu (-1 FS)
B	Schildhornstr.	SO	3,3%	0,7%	2,5%	0,7%	-0,8%	0,0%		
C	Stromstr.	N	0,2%	17,8%	0,0%	24,7%	-0,2%	6,9%		vor LSA (Signalzeit geändert?)
D	Leipziger Str. (westl. Wilhelmstr.)	O	12,9%	2,2%	9,2%	0,6%	-3,7%	-1,6%	Friedrichstr. 8/20 bis 10/21 autofrei	Friedrichstr. 8/20 bis 10/21 autofrei
D	Leipziger Str. (ostl. Friedrichstr.)	O	6,2%	13,3%	10,7%	14,8%	4,5%	1,5%	Friedrichstr. 8/20 bis 10/21 autofrei	Friedrichstr. 8/20 bis 10/21 autofrei
E	Silbersteinstr.	O	27,2%	2,6%	32,6%	3,4%	5,4%	0,8%	2021 Baustelle	
F	Mariendorfer Damm	S	0,0%	21,6%	0,0%	12,2%	0,0%	-9,4%		
G	Frankfurter Allee	O	5,4%	3,1%	16,0%	2,3%	10,6%	-0,8%	Radstreifen neu (-1 FS); Folgeabschnitt ab 06/2021 Baustelle (nur 1 FS)	
H	Landsberger Allee	O	0,9%	7,2%	3,9%	8,5%	3,0%	1,3%	2021 Baustelle (-1 FS)	vor LSA (Signalzeit geändert?)
I	Torstr.	O	19,8%	9,1%	24,2%	9,2%	4,4%	0,1%		
J	Martin-Luther-Str.	N	0,0%	4,8%	0,0%	2,5%	0,0%	-2,3%		
1	Mehringdamm	N	21,9%	3,0%	32,1%	3,2%	10,2%	0,2%	vor LSA (Signalzeit geändert?)	
2	Spandauer Damm	O	16,3%	23,1%	13,4%	18,3%	-2,9%	-4,8%		
3	Sonnenallee	SO	18,4%	19,4%	21,9%	22,0%	3,5%	2,6%	2021 Baustelle auf paralleler Karl-Marx-Str.	2021 Baustelle auf paralleler Karl-Marx-Str.
4	Badstr.	SO	2,5%	3,6%	0,0%	14,0%	-2,5%	10,4%		vor FS-Reduzierung
5	Hermannstr.	S	24,2%	3,7%	24,6%	4,8%	0,4%	1,1%		
6	Alt-Moabit	SO	29,6%	10,0%	26,0%	7,1%	-3,6%	-2,9%		
7	Brückenstr.	N	3,1%	24,7%	2,2%	20,8%	-0,9%	-3,9%		
8	Reinhardtstr.	NO	56,0%	8,5%	44,5%	3,2%	-11,5%	-5,3%	vor LSA (Signalzeit geändert?)	
9	Friedrichstr.	S	18,1%	61,3%	1,6%	49,3%	-16,5%	-12,0%	Baustelle 2019 (-1 FS)	Baustelle 2019 (-1 FS)
13	Albrechtstr.	SO	17,5%	1,6%	8,7%	7,2%	-8,8%	5,6%		
14	Breite Str.	O	17,2%	15,7%	17,3%	21,6%	0,1%	5,9%		März 2021 2-wöchige Sperrung (Gleisbauarbeiten) der Fahrtrichtung
15	Dominicusstr.	SO	11,1%	1,6%	12,1%	1,2%	1,0%	-0,4%		
16	Dorotheenstr.	O	46,9%	15,1%	40,0%	17,0%	-6,9%	1,9%		
17	Joachimsthaler Str.	N	19,4%	30,2%	21,5%	30,5%	2,1%	0,3%		Kantstr. westl. Joachimsthaler Baustelle seit 10/2020 (1 FS)
18	Luxemburger Str.	NO	26,0%	4,1%	23,6%	12,2%	-2,4%	8,1%		vor LSA (Signalzeit geändert?)
19	Müllerstr.	SO	9,0%	46,1%	12,7%	46,8%	3,7%	0,7%		
20	Oranienburger Str.	S	19,9%	43,0%	4,2%	27,8%	-15,7%	-15,2%	2019 Baustelle im weiteren Verlauf (-1 FS); 2021 Baustelle (-1 FS)	2021 Baustelle (1 FS); LSA am Ende nur noch für FG (Anforderung?)
21	Residenzstr.	S	0,0%	7,4%	0,0%	9,5%	0,0%	2,1%		
22	Scharnweberstr.	SO	0,6%	33,2%	0,1%	35,3%	-0,5%	2,1%		
23	Schönholzer Str.	SO	25,3%	8,8%	24,7%	10,9%	-0,6%	2,1%		
24	Turmstr.	O	37,7%	34,3%	35,2%	31,6%	-2,5%	-2,7%		
25	Wilhelmstr. (Mitte)	S	38,1%	19,5%	34,6%	25,5%	-3,5%	6,0%		Zufahrt über Udl ab 10/2021 Baustelle
26	Karl-Marx-Str.	SO	64,2%	39,0%	55,2%	45,2%	-9,0%	6,2%	2019 & 2021 im weiteren Verlauf (-1 FS); im weiteren Verlauf 2021 Baustelle (1 FS)	vor Baustelle (1 FS)
27	Karl-Marx-Str.	SO	4,2%	12,2%	8,6%	22,0%	4,4%	9,8%	Radstreifen neu (-1 FS); im weiteren Verlauf 2021 Baustelle (1 FS)	Radstreifen neu (-1 FS)
28	Klosterstr.	NO	17,9%	0,0%	13,9%	0,0%	-4,0%	0,0%		

Tabelle 5 LOS 4 und LOS 5 für die Auswahlabschnitte

3.3 Evaluierung der Methode zur LOS-Ableitung mit dem Fundamentaldiagramm-Ansatz vs. Geschwindigkeitsansatz anhand ausgewählter Abschnitte

Zur Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands („LOS“, Level of Service) aus verkehrlichen Messwerten existieren verschiedene Verfahren (vgl. VDI 3782, Blatt 7, Abschnitt 8.3). Hierzu gehören insbesondere die Ableitung „aus gemessener Verkehrsstärke und lokaler Geschwindigkeit“ (im Folgenden „Methode Fundamentaldiagramm“) und „aus streckenabschnittsbezogenen Reisezeiten“ (im Folgenden „Methode FCD“). Beide Methoden basieren auf unterschiedlichen Datengrundlagen, haben aber die Gemeinsamkeit, die Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands aus direkt gemessenen Kennwerten vorzunehmen.

3.3.1 Unterschiede in der Datengrundlage

Die Methode Fundamentaldiagramm basiert auf der lokalen Messung von Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten. Dies stellt vorteilhafterweise eine Vollerfassung am jeweiligen Erfassungsquerschnitt dar, wirft jedoch die Frage nach der Repräsentativität des Erfassungsorts für den gesamten Streckenabschnitt auf. Standorte in der Nähe des jeweils folgenden Knotenpunkts bilden Brems- und Beschleunigungsvorgänge stärker ab als Standorte, die vom Knotenpunkt weiter entfernt sind.

Die Methode FCD basiert hingegen auf einer stichprobenartigen Erhebung von Geschwindigkeiten, die sich auf den gesamten betrachteten Streckenabschnitt beziehen. Diese über den Streckenabschnitt gemittelten Geschwindigkeitswerte weichen damit zwangsläufig von lokalen Geschwindigkeiten an einem spezifischen Ort innerhalb des Streckenabschnitts ab. Darüber hinaus ist neben der unterschiedlichen Messtechnik auch der systematische Unterschied zwischen einer Vollerfassung und einer Stichprobenmethode zu berücksichtigen. Im nachfolgenden Abschnitt wird ein Vergleich der Ergebnisse in Form der HBEFA-Verkehrszustände für beide Methoden dargestellt

3.3.2 Vergleich der resultierenden HBEFA-Verkehrszustände

Der Vergleich erfolgt am Beispiel eines Messquerschnitts in der Stromstraße (Moabit) zwischen Bughenagenstraße und Turmstraße in Höhe Haus Nr. 56 (Fahrtrichtung Perleberger Straße: Süd). Hierzu wurden Messdaten aus dem September 2021 für beide Methoden herangezogen. Zur Visualisierung wurden die Ergebnisse in ein gemeinsames Fundamentaldiagramm (q-v-Quadrant) in folgender Form eingetragen: Die Messwerte der Kfz-Verkehrsstärke und der mittleren lokalen Geschwindigkeit bestimmen die Lage der Punkte im Diagramm, der nur aus den FCD ermittelte HBEFA-Verkehrszustand bestimmt die Farbe der Punkte im Diagramm. Die Datengrundlage sind 5-Minuten-Messwerte (arithmetische Mittelung der FCD-Geschwindigkeiten). Aus den FCD wurden die

Anteile der jeweiligen Verkehrszustände an der Kfz-Verkehrsstärke nach HBEFA 4.2 berechnet, der Verkehrszustand mit dem größten Anteil bestimmt die Einfärbung. In Abbildung 11 ist die Gesamtschau auf alle fünf Verkehrszustände zu sehen.

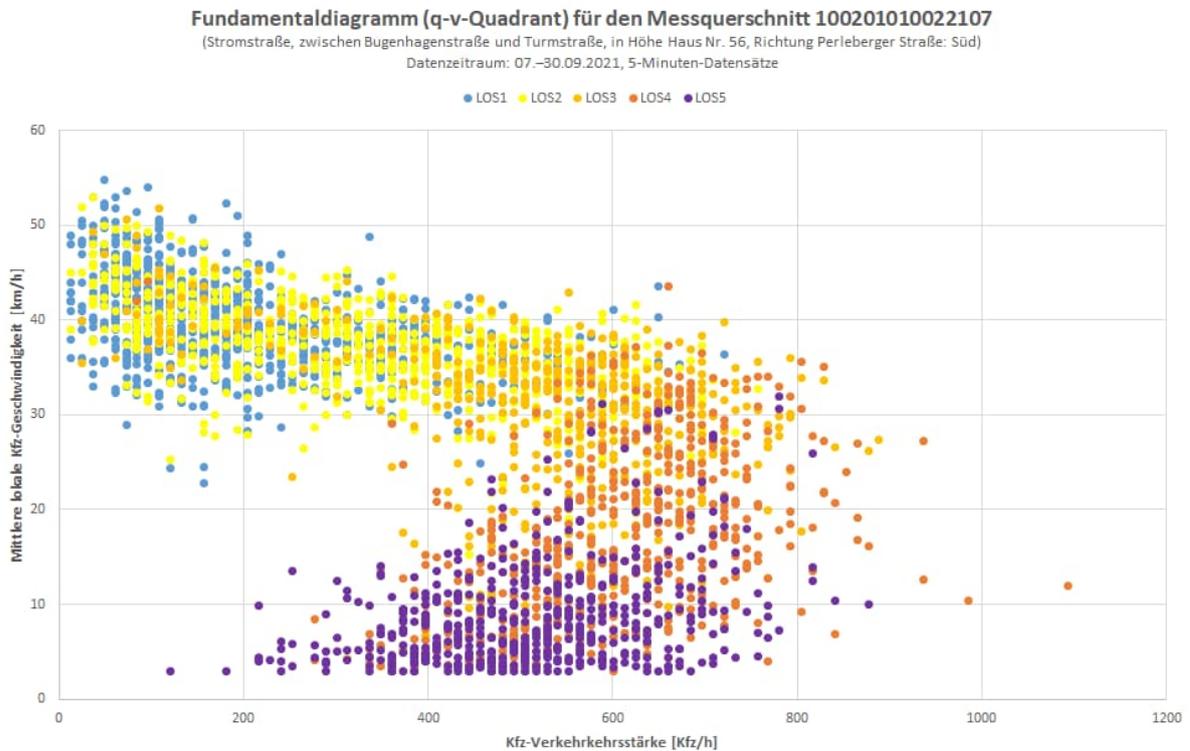


Abbildung 11 Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (alle HBEFA-Verkehrszustände)

Aus der Abbildung 11 ist abzulesen, dass es

- keine scharfen Grenzen zwischen den mittels FCD ermittelten Verkehrszuständen im Fundamentaldiagramm gibt,
- sich die Bereiche der HBEFA-Verkehrszustände in diesem Diagramm offensichtlich überlagern und
- trotzdem relativ klare, wenngleich auch unscharf begrenzte, Bereiche der einzelnen HBEFA-Verkehrszustände existieren.

Diese Abgrenzung ist maßgeblich für die Beantwortung der Frage nach der Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden. Daher sind in den Abbildung 12 bis Abbildung 16 die HBEFA-Verkehrszustände (LOS 1 bis LOS 5) jeweils einzeln in Bezug zur gesamten Punktwolke (alle LOS) dargestellt.

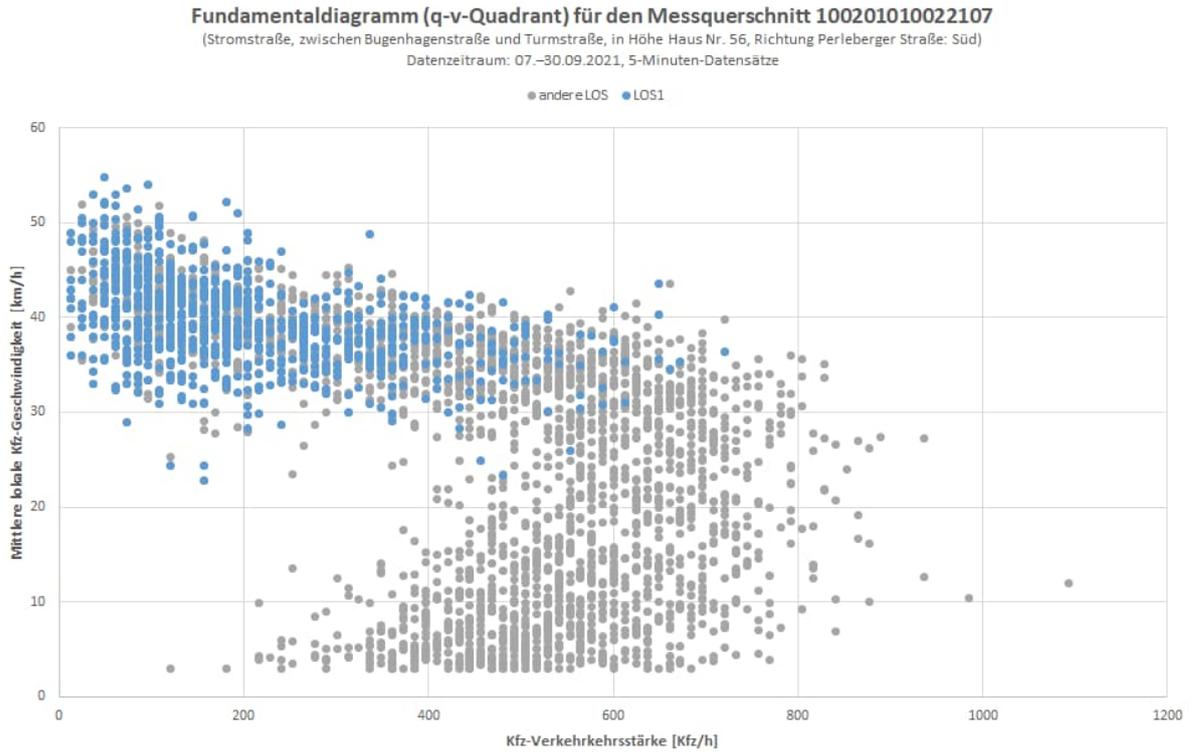


Abbildung 12 Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 1)

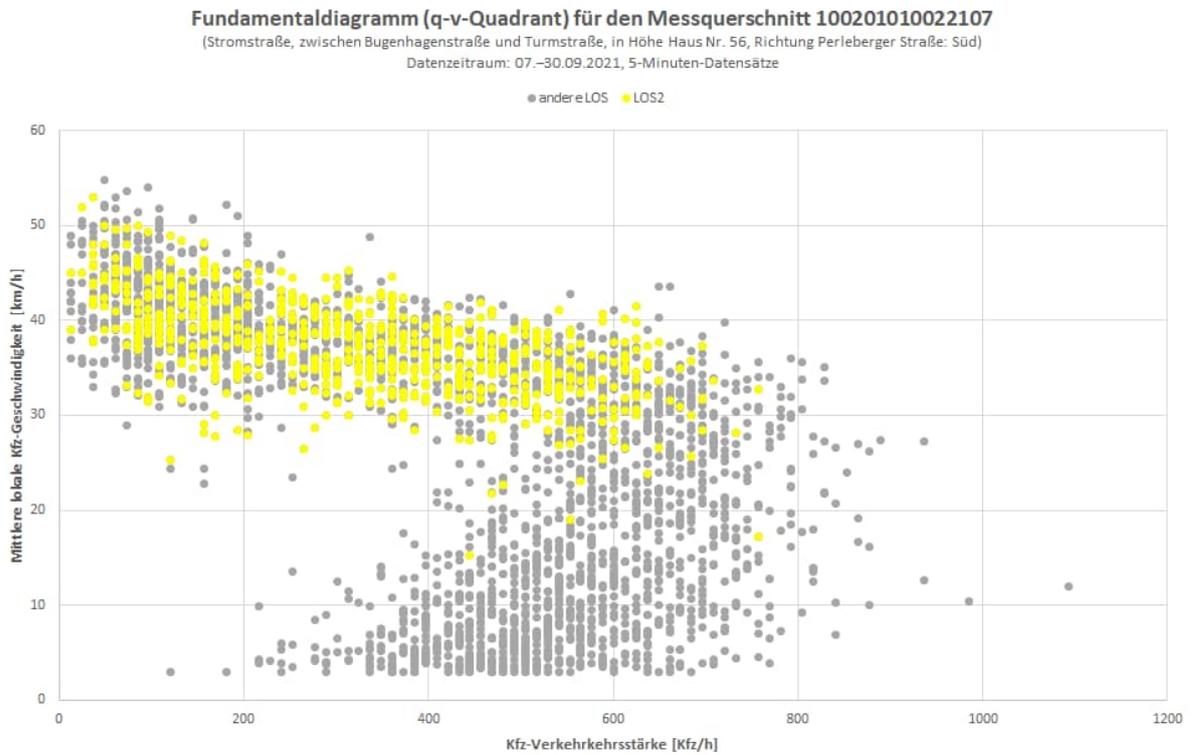


Abbildung 13 Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 2)

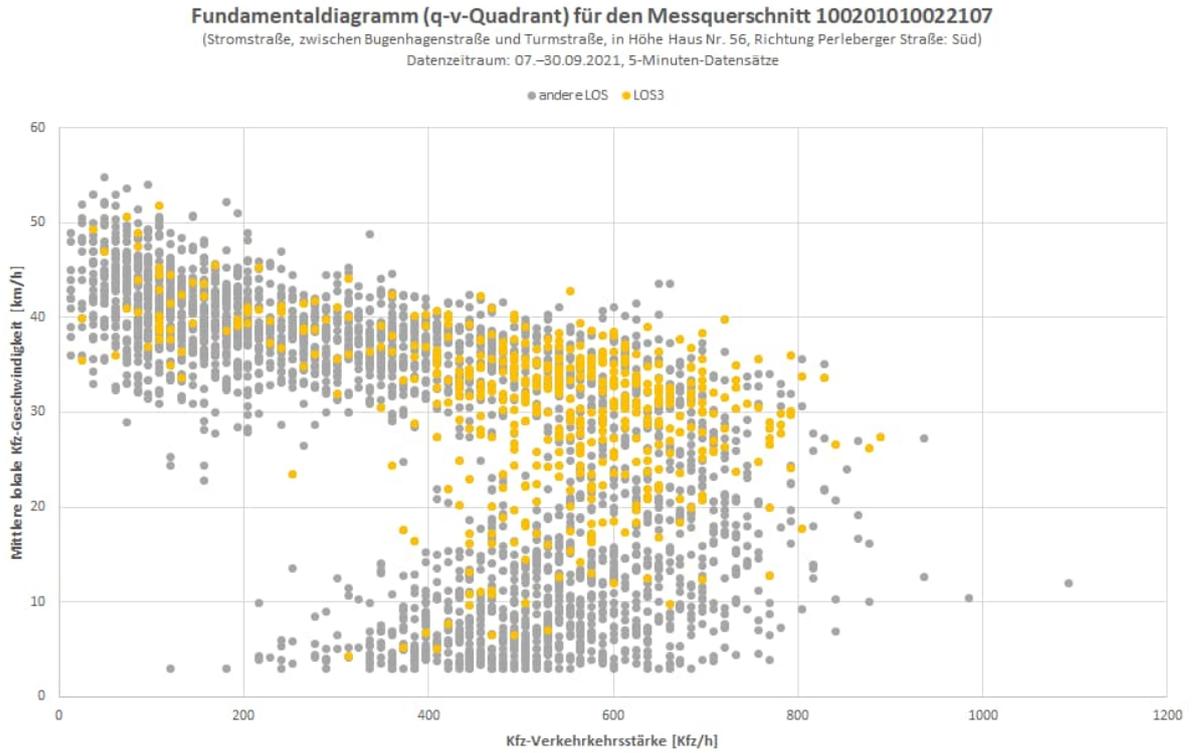


Abbildung 14 Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 3)

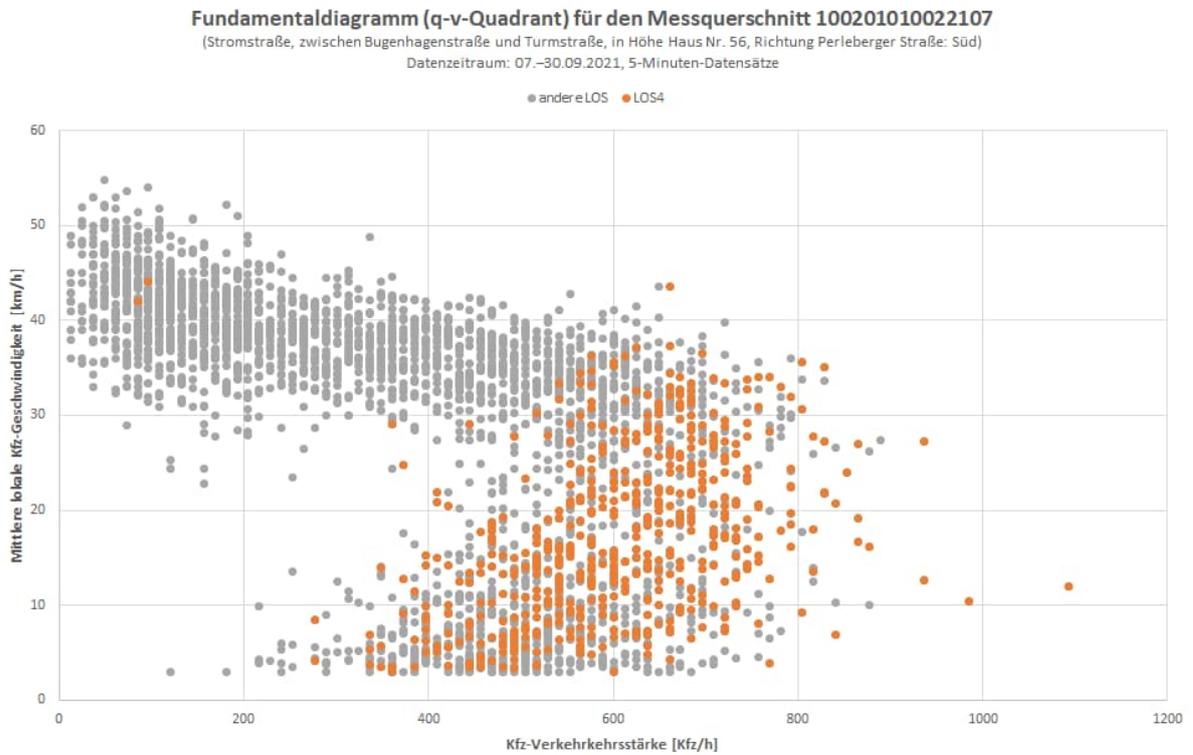


Abbildung 15 Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 4)

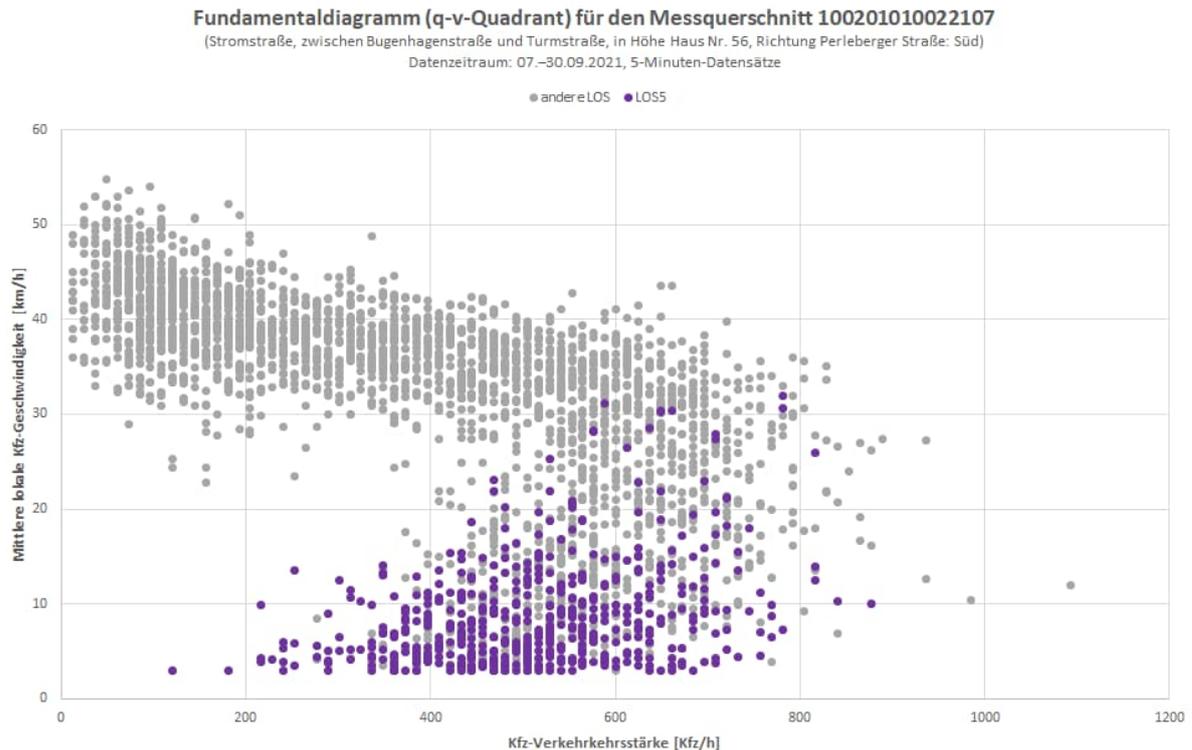


Abbildung 16 Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 5)

3.3.3 Schlussfolgerungen

Aus den Abbildung 12 bis Abbildung 16 ist abzulesen, dass die Unterscheidung zwischen den beiden Verkehrszuständen LOS 1 und LOS 2 auf Basis der FCD nur eingeschränkt möglich ist. Da dies aber die Verkehrszustände mit geringen Verkehrsstärken und mit niedrigen Emissionsfaktoren sind, sind diese nur von geringerer Bedeutung für die Ermittlung der Emissionswerte.

Weiterhin können für die Verkehrszustände LOS 3 bis LOS 5 vergleichsweise klare Bereiche innerhalb des Fundamentaldiagramms abgelesen werden, die sich untereinander und von den LOS 1 und LOS 2 deutlich unterscheiden. Dies weist auf eine gute Übereinstimmung beider Methoden zur Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands hin, sofern die Grenzen zur Ableitung des Verkehrszustands aus lokalen Messwerten geeignet gesetzt werden (Parametrierung).

3.3.4 Empfehlungen

Beide Methoden (Fundamentaldiagramm und FCD) sind grundsätzlich geeignet, den HBEFA-Verkehrszustand messwertbasiert zu ermitteln und führen bei geeigneter Parametrierung der Methode Fundamentaldiagramm und einem für den Streckenabschnitt repräsentativ gewählten Messort zu vergleichbaren Ergebnissen für die Emissionsberechnung. Um diese Übereinstimmung möglichst groß zu halten wird empfohlen, dass:

- (1) Nur FCD mit geeignet großer Stichprobe und Datenqualität verwendet werden. Eine Stichprobe wird dabei als geeignet groß eingeschätzt, wenn mindestens 5 % der einen Streckenabschnitt durchfahrenden Fahrzeuge erfasst werden. Größere Stichproben erhöhen die Aussagekraft.
Die Datenqualität bezieht sich insbesondere auf die Quellen der FCD: Neben den Kfz des MIV sollten möglichst keine Daten anderer Verkehrsteilnehmenden in den zugrundeliegenden Daten enthalten sein.
- (2) Nur lokale Messwerte für die Streckenabschnitte repräsentativen Standorten verwendet werden:
Die Repräsentativität der Standorte für lokale Messung ist hauptsächlich auf den Abstand zum folgenden Knotenpunkt bezogen und damit fahrtrichtungsabhängig. Dieser Abstand sollte nicht zu kurz sein, um einzelne Beschleunigungsvorgänge nicht fälschlicherweise auf den gesamten Abschnitt zu übertragen. Er sollte aber auch nicht zu lang sein, um die Empfindlichkeit gegenüber den zu messenden Störungen im Verkehrsablauf sicherzustellen. Darüber hinaus sind lokale Einflüsse wie Ein- und Ausfahrten bei der Standortwahl zu berücksichtigen.
- (3) Die Parametrierung der Bereiche der einzelnen Verkehrszustände innerhalb des Fundamentaldiagramms geeignet vorgenommen werden: Eine kontinuierliche Prüfung und Überarbeitung der Parametrierungen ist für eine hohe Qualität der Aussagen unabdingbar.

4 Analyse der Luftbelastung

4.1 Methodik

Ziel der hier durchgeführten Berechnungen ist die Ermittlung der Jahresmittelwerte für NO_2 , PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ in den bebauten Hauptverkehrsstraßen für Berlin.

Einen detaillierten Überblick in die Methoden der Ermittlung der Gesamtbelastung von Schadstoffimmissionen gibt der von IVU Umwelt erstellte Leitfaden „Modellierung verkehrsbedingter Immissionen“⁸. Eine vollständige Modellierung der Schadstoffkonzentrationen im urbanen Maßstab erfordert die Einbeziehung aller städtischen Emissionsquellen und die Verwendung von Regionalmodellen zur Berechnung des urbanen bzw. regionalen Hintergrunds sowie von Screening- oder Detailmodellen für den Hotspot. In Abbildung 17 ist der Ablauf einer solchen Modellierung schematisch dargestellt.

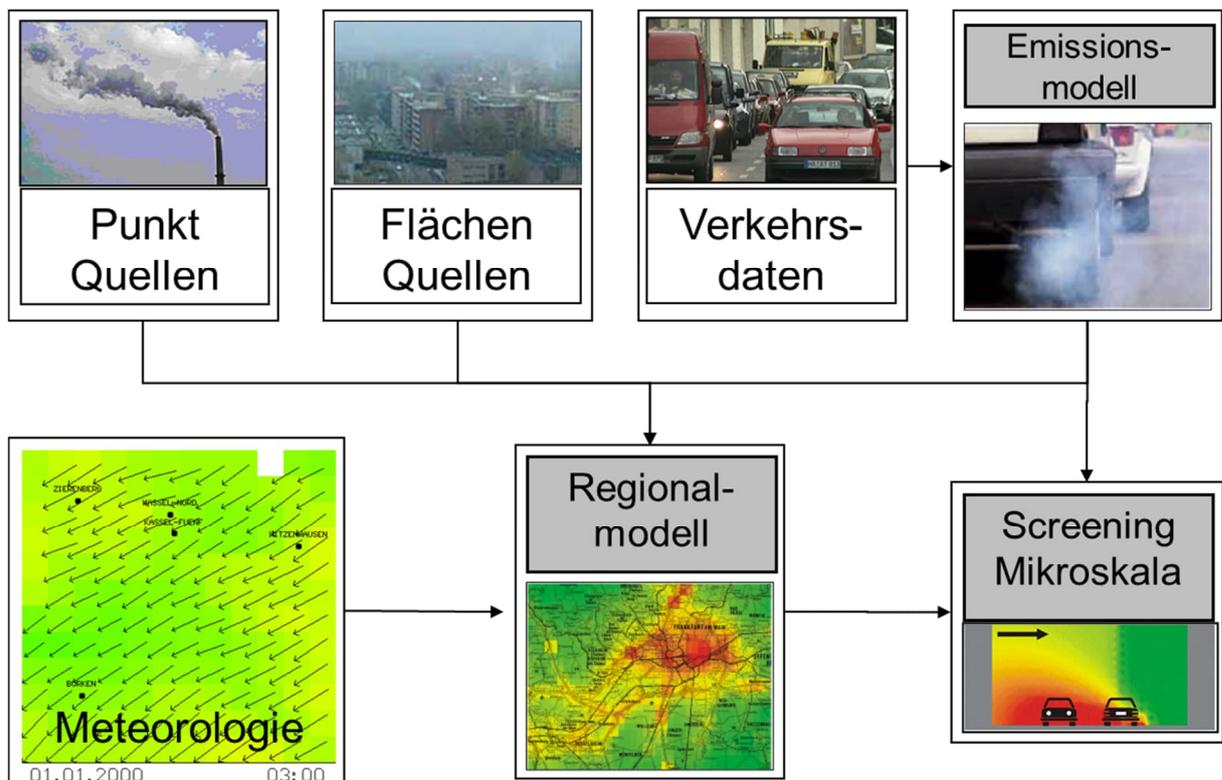


Abbildung 17 Schema einer vollständigen Modellierung

⁸ LUBW 2015: Leitfaden Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten. Aktualisierung des Kapitels Sensitivitäten unter Beachtung des aktualisierten HBEFA Version 3.2. Auftraggeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Veröffentlichung durch den Auftraggeber. 2015.

Für die hier vorliegenden Modellierungen wurden die Emissionen des Straßenverkehrs stadtweit für Berlin mit dem Emissionsmodell IMMIS^{em} durchgeführt, welches in Abschnitt 4.1.1 beschrieben wird. Die zur Berechnung verwendete Datengrundlage für den Kfz-Verkehr wird in Kapitel 2 beschrieben.

Bei den verkehrsbedingten Luftbelastungen treten die Maximalkonzentrationen vornehmlich im dicht bebauten Bereich von Hauptverkehrsstraßen auf, den sogenannten Hotspots. Die Luftschadstoffanalyse für die Hotspots wurde mit dem Screeningmodell IMMIS^{luft} durchgeführt, welches in Abschnitt 4.1.3 beschrieben wird. Ein Screeningmodell wie IMMIS^{luft} ermittelt nur die durch den lokalen Verkehr verursachte Schadstoffbelastung, die sogenannte Zusatzbelastung. Zur Ermittlung der Gesamtbelastung ist je Straßenabschnitt die Information zur Vorbelastung erforderlich. Das hierzu angewandte Verfahren wird in Abschnitt 4.3.1 und das verwendete Regionalmodell in Abschnitt 4.1.2 beschrieben.

Treibende Kraft für die Ausbreitung von Luftschadstoffen sind meteorologische Prozesse in der Atmosphäre. Die verwendeten Daten werden in Abschnitt 4.1.6 dargestellt.

Die in diesem Abschnitt beschriebene Methodik wurde auch in den Modellrechnungen⁹ zur zweiten Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans (im Folgenden als LRP Berlin bezeichnet) angewendet. Hier nicht weiter beschriebene Eingangsdaten, wie z. B. die Geometrie der Screeningabschnitte und Modellergebnisse, wie z. B. räumliche Struktur der Vorbelastung, wurden aus dieser Untersuchung übernommen.

4.1.1 Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs mit IMMIS^{em}

Die Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs wurde mit dem Modell IMMIS^{em10} durchgeführt. Das von IVU Umwelt kontinuierlich weiterentwickelte Modell IMMIS^{em} in der Version 9 berechnet, basierend auf dem Handbuch für Emissionsfaktoren HBEFA 4.2¹¹ und der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7¹², die Emissionen des Straßenverkehrs. Die dem HBEFA zu Grunde liegende Datenbank besteht aus Emissionsfaktoren für einzelne Fahrzeugschichten, unterschieden nach verschiedenen Verkehrssituationen zur Beschreibung der Verkehrsdynamik, und aus Angaben zu jahresbezogenen gesamtdeutschen Flottenzusammensetzungen. Die Modellierung der PM10- und PM2.5-Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb (AWAR) erfolgt mit den entsprechenden Emissionsfaktoren des HBEFA 4.2. Ergänzt wird die Emissionsberechnung in IMMIS^{em} um ein Modell zur Abbildung von Kaltstartzuschlägen entsprechend der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7.

⁹ IVU Umwelt 2020: Modellrechnungen zur Zweiten Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans (LRP). Unter Mitarbeit von R. Stern, Berlin. Auftraggeber: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin. Veröffentlichung durch den Auftraggeber. 2020.

¹⁰ IVU Umwelt, 2022: IMMISem/Luft/lärm- Handbuch zur Version 9. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2022.

¹¹ INFRAS 2022: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 4.2. Hrsg.: INFRAS Bern im Auftrag von Umweltbundesamt (Deutschland), BAFU (Schweiz), Umweltbundesamt (Österreich), ADEME (Frankreich), Trafikverket (Schweden) und Miljødirektoratet (Norwegen). 2022.

¹² KRdL 2020: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung - Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Düsseldorf, 2020.

Für die Bestimmung der Kfz-Emissionen ist nicht der Fahrzeugbestand heranzuziehen, sondern die im Verkehr befindliche dynamische Flottenzusammensetzung. Im vorliegenden Projekt wurden dazu von der Senatsverwaltung bereitgestellte Daten aus der entsprechend Kennzeichenerfassung verwendet (siehe dazu Abschnitt 4.1.5).

4.1.2 Berechnung des urbanen Anteils des Kfz-Verkehrs mit IMMIS^{net}

Zur Berechnung des urbanen Anteils des Kfz-Verkehrs an der Vorbelastung wurde das immissionsklimatologische Ausbreitungsmodell IMMIS^{net13} verwendet. Auf der Basis der Gaußschen Rauchfahngleichung berechnet das Modell die Immissionsbeiträge aus den Emissionen aller vorgegeben Schadstoffquellen.

Aus den für alle Stunden eines Jahres berechneten Einzelimmissionen wird für jeden definierten Rezeptor der Jahresmittelwert bestimmt. IMMIS^{net} kann Vorbelastungsdaten für Detail- oder Screeningmodelle bereitstellen, in dem bei der stundenfeinen Berechnung der Beitrag der mit dem Detail- oder Screeningmodell zu untersuchenden Straße nicht berücksichtigt wird.

Eingangsgrößen in IMMIS^{net} sind eine klimatologische Häufigkeitsverteilung oder eine Zeitreihe der meteorologischen Parameter sowie die Emissionsdaten der betrachteten Quellen. Das Modell arbeitet chronologisch, d. h. für jede Stunde eines Jahres werden die Immissionsbeiträge aller betrachteten Quellen berechnet. Aus angegebenen Jahresemissionen ermittelt das Modell über verursachergruppenspezifische Monats-, Wochen- und Tagesgänge die stündliche Emission.

Mit IMMIS^{net} wurde unter Verwendung der für jedes Jahr ermittelten Emissionen des Kfz-Verkehrs und der entsprechenden Meteorologie sowohl für die Positionen der Messtandorte im Stadtrandgebiet von Berlin als auch für jeden Straßenabschnitt für jedes Bezugsjahr der Beitrag des Kfz-Verkehrs ermittelt. Die Ableitung der Gesamtvorbelastung ist in Abschnitt 4.3.1 beschrieben.

4.1.3 Ermittlung der Gesamtbelastung mit IMMIS^{luft}

Die Zusatz- und Gesamtbelastung in bebauten Straßenräumen wurde mit Hilfe des Screeningmodells IMMIS^{luft} ermittelt. Das Modell berechnet für bebauungs- und verkehrshomogene Straßenabschnitte jeweils einen Wert der Zusatzbelastung auf Basis von meteorologieabhängigen Kopplungswerten und den verkehrsbedingten Emissionen des jeweiligen Straßenabschnitts unter Berücksichtigung des Jahresmittelwerts der Windgeschwindigkeit. Die Kopplungswerte stellen den Zusammenhang zwischen den Emissionen im Straßenraum und der zu berechnenden Zusatzbelastung her. Sie werden

¹³ IVU, 1996a: Entwicklung eines Modellinstrumentariums zur immissionsseitigen Bewertung von Kfz-Emissionen: IMMIS^{net} und IMMIS^{cpb}. In: UBA; FGU (Hrsg.): Schadstoffemissionsberechnung des Verkehrs mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren. Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung, speziell für Immissionsberechnung nach § 40 Abs. 2 BImSchG. 438. Seminar des Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V. 1996.

auf der Basis einer meteorologischen Zeitreihe oder Statistik für verschiedene Straßenraumgeometrien mit dem Modell IMMIS^{cpb} vorprozessiert¹⁴.

Da von einem Screeningverfahren im Allgemeinen eine konservative Berechnung der Konzentration im Sinne einer tendenziellen Überschätzung verlangt wird, wird bei IMMIS^{luft} die Zusatzbelastung pro Straßenabschnitt für zwei fest definierte Aufpunkte im Straßenquerschnitt in der minimal erlaubten Messhöhe von 1,5 m, beidseits der Straße im Abstand von 15 % des Bebauungsabstandes (quer zur Straße) von der Bebauung, berechnet. Ausgegeben wird der höhere der beiden berechneten Werte.

Ein Straßenabschnitt wird als in sich homogen bezeichnet, wenn er mit einer Höhendifferenz von bis zu $\pm 10\%$ der durchschnittlichen Höhe, durchgehend bebaut und mindestens doppelt so lang wie breit ist. Um Baulücken in einem Straßenabschnitt zu berücksichtigen, kann eine Porosität vorgegeben werden, die sich aus Länge und Breite des Straßenabschnitts sowie der bebauten Länge berechnet. Für Porositäten $> 90\%$ wird von einem Straßenabschnitt ohne Bebauung ausgegangen, für den der Einsatz von IMMIS^{luft} nicht gültig ist. Bei Abschnitten ohne Randbebauung ist von einer deutlich niedrigeren Luftschadstoffbelastung auszugehen als bei Abschnitten mit vergleichbarem Verkehrsaufkommen und einer vorhandenen Randbebauung. Außerdem liegt bei fehlender Bebauung auch keine direkte Betroffenheit vor. Straßenabschnitte ohne Randbebauung werden in der vorliegenden Untersuchung nicht betrachtet.

Bei einem Vergleich von mit einem Screening-Verfahren berechneten Konzentrationen mit Messwerten muss berücksichtigt werden, dass es sich bei einem Screeningverfahren um ein stark vereinfachtes Verfahren handelt.

Eine schematische Darstellung, wie sich die Luftbelastung innerhalb einer Stadt zusammensetzt, zeigt Abbildung 18. An den verkehrlichen Hotspots ist die Gesamtbelastung die Summe aus regionalem Hintergrund, urbanem Hintergrund und Zusatzbelastung.

¹⁴ Wiegand, G.; Diegmann, V., 1994: Modellierung der Immissionsbelastung inerten Schadstoffe in Innenstädten durch den Kfz-Verkehr auf der Basis von Häufigkeitsverteilungen. In: Ossing, F. (Hrsg.): EDV für Verkehrskonzepte in Stadt und Region. Praxis der Umweltinformatik, Band 3. Metropolis Verlag, Marburg, 1994.

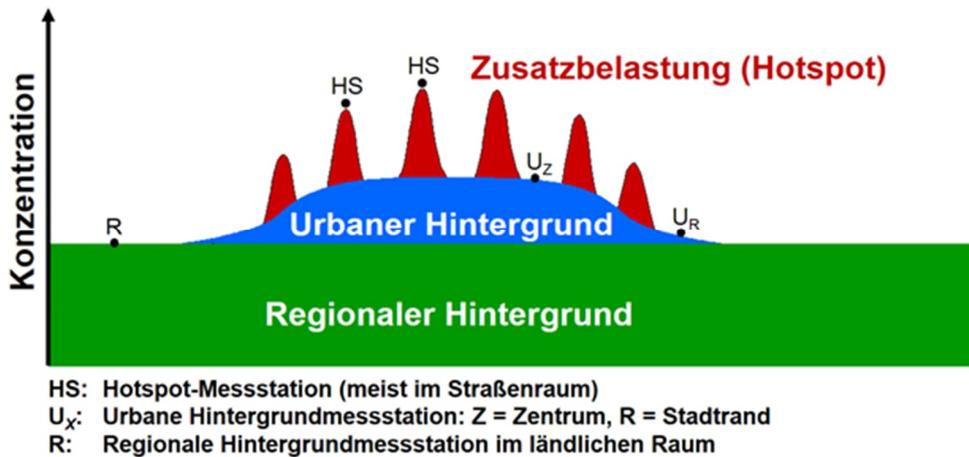


Abbildung 18 Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung (nach Lenschow et al. (2001)¹⁵)

Die im vorliegenden Projekt verwendete Vorbelastung wird im Abschnitt 4.3.1 beschrieben.

4.1.4 Ableitung von Kenngrößen

NO₂ ist ein chemisch aktiver Stoff, der in der Atmosphäre einer Reihe von Reaktionen mit unterschiedlichen Stoffen unterliegt. Die NO₂-Konzentration in einem bebauten Straßenabschnitt setzt sich, vereinfacht dargestellt, zusammen aus der NO₂-Vorbelastung, dem Anteil, des durch den Kfz-Verkehr direkt emittierten NO₂ und dem durch chemische Umwandlungen produzierten oder eliminierten NO₂. Die chemischen Reaktionen, an denen NO₂ beteiligt ist, unterscheiden sich dabei in ihrer Geschwindigkeit und ihrer Komplexität.

In der vorliegenden Untersuchung wurde zur Berechnung des NO₂-Jahresmittelwerts der Ansatz nach Düring & Bächlin¹⁶ verwendet. Als Eingangsdaten dafür gehen die NO_x-Gesamtbelastung in der Straßenschlucht, die Hintergrundkonzentrationen von NO, NO₂ und O₃ sowie der Anteil der primären NO₂-Emissionen an den NO_x-Emissionen als Jahresmittelwerte in die Berechnung ein. Als Ergebnis werden Jahresmittelwerte der NO₂-Gesamtbelastung berechnet.

¹⁵ Lenschow, P.; Abraham, H. J.; Kutzner, K.; Lutz, M.; Preuss, J.-D.; Reichenbacher, W., 2001: Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35 Nr. Supplement 1, S. 23-33. 2001.

¹⁶ Düring, I.; Bächlin, W., 2009: Tendenzen der NO₂-Belastung im Land Brandenburg. Auftraggeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Unter Mitarbeit von IFEU GmbH, Heidelberg, Planungsbüro Dr. Hunger, Dresden und National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde, Dänemark. 2009.

4.1.5 Flottenzusammensetzung

Die Emissionsfaktoren liegen im HBEFA – und damit auch in IMMIS^{em} – getrennt für die einzelnen Fahrzeugschichten vor. Eine Fahrzeugschicht ist definiert durch die Fahrzeugart (Pkw, leichte Nutzfahrzeuge, schwere Nutzfahrzeuge, Reisebusse, Linienbusse und Kräder), dem Motorkonzept (Benzin, Diesel, Elektro/Alternativ) und der Schadstoffklasse gemäß Europäischer Abgasvorschriften und bei Nutzfahrzeugen der Gewichtsklasse.

Für die hier durchgeführten Berechnungen wurde die Zusammensetzung der Fahrzeugflotten für das Bezugsjahr 2021 auf Berliner Verhältnisse angepasst. Dafür wurden von der Senatsverwaltung Berlin Daten der Kennzeichenerfassung 2021 zur Verfügung gestellt. Fahrzeuge mit Dieselpartikelfiltern, für die es im HBEFA 4.2 keine passende Fahrzeugschichtkombination aus Euro-Norm und Dieselpartikelfilter gibt, wurden wie im LRP Berlin² behandelt.

Die für Berlin angepassten Flottenzusammensetzungen wurden bei den Emissionsberechnungen mit IMMIS^{em} als Innerortsflotte verwendet und sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 im Vergleich zu den Standardflotten des HBEFA dargestellt.

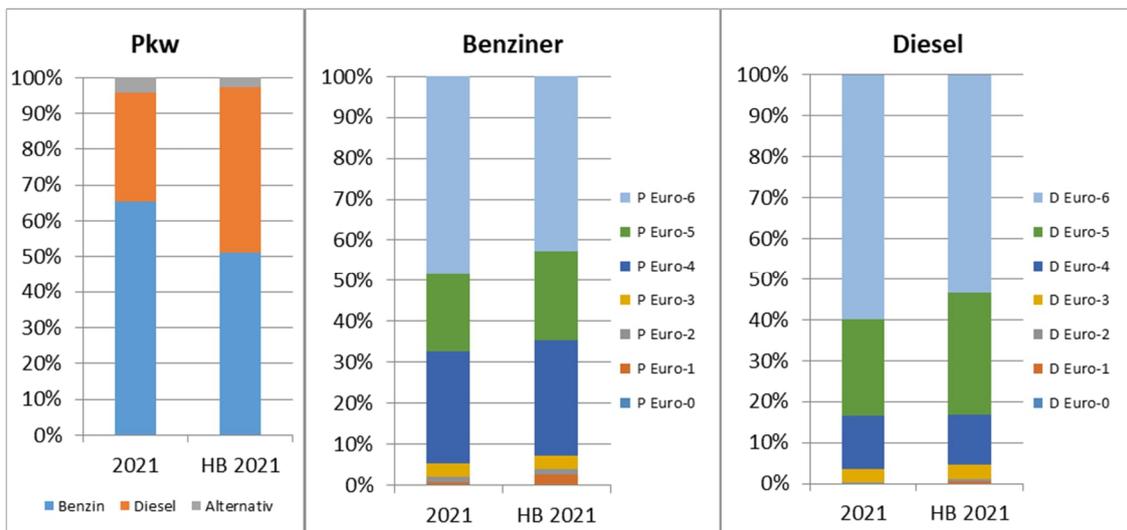


Abbildung 19 Aufteilung der Flotte alle Pkw (links), sowie Diesel- (Mitte) und Benzin-Pkw (rechts) spezifisch für Berlin in 2021

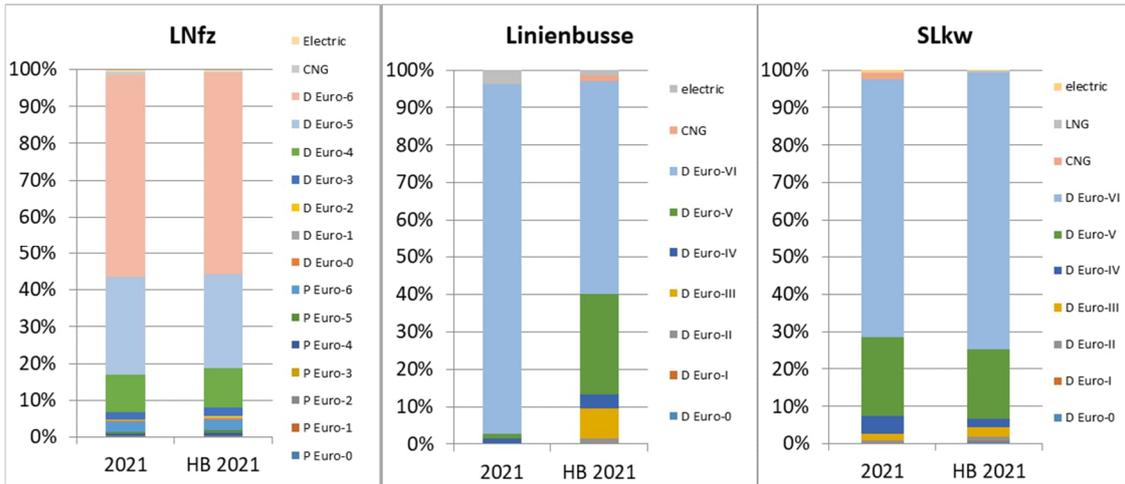


Abbildung 20 Aufteilung der Flotte für leichte Nutzfahrzeuge (LLkw, links), schwere Nfz (SLkw, Mitte) und Linienbusse (rechts) für spezifisch für Berlin in 2021

4.1.6 Meteorologie

Als meteorologische Eingangsdaten wurden auf der Basis der verfügbaren Messdaten des DWD für die Messstation Tempelhof die Windrichtung und Windgeschwindigkeit als Stundenwerte für das Bezugsjahr 2021 herangezogen (siehe Abbildung 21). Zur Ermittlung der Ausbreitungsklasse wurden die entsprechenden Daten des DWD vom Flughafen Schönefeld verwendet. Aus den Zeitreihen wurde eine Ausbreitungsklassenstatistik erstellt, die als Eingangsdatum für die Modellierungen mit IMMIS^{net} und IMMIS^{luft} verwendet wurde.

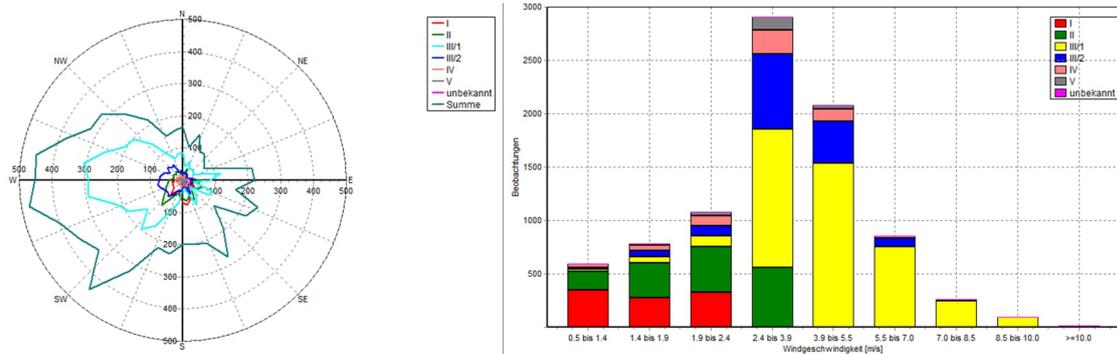


Abbildung 21 Windrose und Windgeschwindigkeitshäufigkeiten für 2021 mit Windrichtung und Windgeschwindigkeit der Station Tempelhof und den Ausbreitungsklassen auf Basis meteorologischer Daten der Station Flughafen Schönefeld

Die Windmessung erfolgt in einer Höhe von 10 m in einem Gebiet mit einer geringen aerodynamischen Rauigkeit. Im Untersuchungsgebiet der Stadt Berlin muss von einer höheren Rauigkeit ausgegangen werden. Zudem wird für die Ausbreitungsrechnungen

eine Windgeschwindigkeit im Überdachniveau gefordert. Entsprechend KRdL¹⁷ wurde die Windgeschwindigkeit skaliert. Der in IMMIS^{luft} verwendete Wert für den Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit beträgt damit 2,26 m/s.

4.2 Verkehrsemissionen

Grundlage für die Berechnung der Emissionen ist das linienbezogene, fahrtrichtungsgetrennte Verkehrsnetz für den Hauptstraßenverkehr (s. Kapitel 2). Das Verkehrsnetz enthält abschnitts- und richtungsbezogene Verkehrsstärken als durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) und Anteile leichter und schwerer Nfz, Reisebusse, Linienbusse sowie Krädern. Außerdem sind abschnittsbezogene Attribuierungen zur Verkehrssituation nach HBEFA mit Straßentyp und Tempolimit sowie Verkehrsstärkeanteile der fünf HBEFA-Verkehrszustände (LOS) zur Beschreibung der Verkehrsdynamik und eine Typisierung des Kaltstarts zugeordnet.

Im Szenario V19/F21 mit den Verkehrsdaten für 2019 wurden mit IMMIS^{em} Version 9 unter Berücksichtigung der regionalisierten Flotte 2021 (Abschnitt 4.1.5) und der Emissionsfaktoren des HBEFA 4.2 netzweit die abschnittsbezogenen Emissionen des Kfz-Verkehrs für NO_x, NO₂, PM10 und PM2.5 berechnet.

Die Emissionsbilanz für das Gesamtnetz im Szenario V19/F21 ist in Tabelle 6 dargestellt.

Stoff	Emission [t/a]
NO ₂	592
NO _x	3936
Partikel	53
PM10	559
PM2.5	229

Tabelle 6 Emissionsbilanz im Berliner Hauptstraßennetz für Flottenbezugsjahr 2021 und den Verkehrsdaten aus 2019 (Szenario V19/F21)

¹⁷ KRdL, 2016: Umweltmeteorologie - Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gauß'sches Fahrenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen. VDI-Richtlinie 3782 Blatt 1. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss. Düsseldorf, 2016.

4.3 Luftschadstoffbelastung mit Verkehrsdaten 2019 (Szenario V19/F21)

Wie in Abschnitt 4.1.3 beschrieben, werden die Luftschadstoffbelastungen mit dem Screeningmodell IMMIS^{luft} für bebaute Abschnitte des Hauptstraßennetzes berechnet. Dabei wurden wie im Abschnitt 4.2 beschrieben die Verkehrsdaten aus 2019 und die Flottenzusammensetzung, Vorbelastung sowie Meteorologie aus dem Bezugsjahr 2021 verwendet (Szenario V19/F21). Aus der Abschnittsbildung für den LRP Berlin, die auf Basis des Detailnetzes in der Version 5 erfolgte, lagen 12.374 Screeningabschnitte mit einer Gesamtlänge von 1.125 km vor. Mit dem vorliegenden Projekt wurde für die IMMIS^{luft}-Abschnitte die aktualisierte Netzgrundlage des Detailnetzes in der Version 6 (Kapitel 2) eingepflegt. Im Ergebnis erweiterte sich die Datengrundlage für die vorliegende Berechnung auf 12.479 Screeningabschnitte mit einer Gesamtlänge von 1.138 km.

4.3.1 Vorbelastung

Zur Ermittlung der Gesamtbelastung für einen Screening-Abschnitt ist die Angabe der Vorbelastung notwendig. Für die NO₂-Gesamtbelastung werden gemäß der Ausführung in Abschnitt 4.1.2 die Angaben zu den Vorbelastungswerten für NO₂, NO_x und Ozon benötigt.

Für Berlin liegen an den Hintergrundstationen Messdaten der kontinuierlich messenden BLUME-Stationen für das Bezugsjahr 2021 vor, die aber die räumliche Struktur des urbanen Hintergrunds in einem Stadtgebiet nicht ausreichend wiedergeben. Für eine räumlich aufgelöste Darstellung des urbanen Hintergrundes wurden daher in den Modellrechnungen zur zweiten Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans (LRP Berlin) auf Basis eines Emissionskatasters entsprechende Modellierungen in einem gleichmäßigen 500 m Raster durchgeführt und um Berechnungen der Vorbelastung an den Screeningabschnitten ergänzt. Die Modellierungen wurden für das Bezugsjahr 2020 in zwei Varianten für den Betrieb der Berliner Flughäfen gerechnet, für die hier vorliegenden Berechnungen wird die Variante 2 (BER + SFX) zu Grunde gelegt.

In den oben genannten Modellrechnungen wurde die Vorbelastung getrennt für den regionalen Hintergrund mit dem chemische Transportmodell REM-CALGRID¹⁸ ermittelt. Zur Berechnung des urbanen Anteils der Vorbelastung wurde das immissionsklimatologische Ausbreitungsmodell IMMIS^{net} verwendet, das in Abschnitt 4.1.2 beschrieben ist.

Die Berechnungen wurden als Datengrundlage für das vorliegende Projekt verwendet. Um die für das Bezugsjahr 2020 vorhandenen Vorbelastungswerte auf das hier geforderten Bezugsjahr fortzuschreiben, wurde folgendes Verfahren gewählt.

¹⁸ Stern, R. 2003: Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM/CALGRID. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 "Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon". Im Auftrag des Umweltbundesamts. 2003.

- Unter Verwendung der ermittelten Emissionen aus Abschnitt 4.2 des Kfz-Verkehrs und der entsprechenden Meteorologie wurde mit IMMIS^{net} für die Positionen der Messtandorte im Stadtrandgebiet von Berlin der Beitrag des Kfz-Verkehrs ermittelt.
- Aus der Differenz der an den Stadtrandstationen gemessenen Konzentrationen und des mit IMMIS^{net} berechneten Kfz-Beitrags wurde ausgehend von 2020 die Entwicklung der Vorbelastungswerte ohne den Kfz-Verkehr in 2021 abgeleitet.
- Über die Mittelung der Differenzen wurde ein Korrekturfaktor der Vorbelastung ohne den urbanen Beitrag des Kfz-Verkehrs ermittelt.
- Für den urbanen Beitrag des Kfz-Verkehrs wurde mit IMMIS^{net} für jeden Straßenabschnitt für 2021 der Vorbelastungswert mit IMMIS^{net} berechnet.
- Die abschnittsweise Gesamtvorbelastung 2021 ergibt sich dann als Summe aus den beiden o.g. Beiträgen.

Die Vorbelastung für NO₂ und Ozon wurde in den Modellberechnungen für den Luftreinhalteplan² aus entsprechenden Modellberechnungen mit RCG für das Bezugsjahr 2015 übernommen, bei denen auch alle Quellen innerhalb von Berlin berücksichtigt wurden. Aus der mittleren Veränderung der NO₂- und Ozon-Messwerten an den Hintergrundstationen in Berlin im Verhältnis zu 2015 wurde ein Korrekturfaktor für 2021 abgeleitet, der abschnittsbezogen auf die NO₂- und Ozon-Vorbelastungswerte aus dem LRP angewendet wurde.

4.3.2 Gesamtbelastung

Auf Basis der berechneten Emissionen auf Grundlage der Verkehrsdaten für 2019 aus Abschnitt 4.2 und den Vorbelastungen aus Abschnitt 4.3.1 wurden die Gesamtbelastung für NO₂, PM10 und PM2.5 als Szenario V19/F21 für das Bezugsjahr 2021 mit IMMIS^{luft} für 12.479 Screeningabschnitte berechnet.

In Abschnitt 4.5 werden die IMMIS^{luft}-Ergebnisse für NO₂ für das Szenario V19/F21 für Abschnitte mit vorhandenen Luftschadstoffmessungen den Messungen aus 2021 gegenübergestellt.

Die Gesamtbelastung im Hauptstraßennetz von Berlin für das Szenario V19/F21 wurde als Häufigkeit bzw. Längenverteilung von Straßenabschnitten mit entsprechenden Konzentrationsklassen der modellierten Jahresmittelwerte von NO₂, PM10 und PM2.5 ausgewertet und ist in Abbildung 22 bis Abbildung 24 in Histogrammen sowie kartographisch in Karte 14 bis Karte 16 im Anhang dargestellt.

Im Ergebnis der Screeningberechnungen für das Szenario V19/F21 werden für neun Abschnitte (Tabelle 7) mit einer Gesamtlänge von 800 m Überschreitungen des gültigen NO₂-Grenzwertes in Höhe von 40 µg/m³ prognostiziert. Unter einer konservativen Berücksichtigung einer Fehlermarge auf das Modellergebnis von 10 % (Modellwerte > 36 µg/m³), sind 17 Abschnitte mit einer Länge von 1.560 m (Tabelle 7) und bei einer Fehlermarge von 20 % (Modellwerte > 32 µg/m³) 107 Abschnitte mit einer Länge von 13,1 km potenziell von einer NO₂-Grenzwertverletzung betroffen.

IMMIS-ID	Name	Länge [m]	JMW NO ₂ SzenarioV19/F21 [µg/m ³]
1524	Leipziger Str.	110	50.7
6049	Leipziger Str.	110	49.3
1557	A 100 BAB Stadtring	112	47.9
2281	A 100 BAB Stadtring	199	45.4
6391	Friedrichstr.	58	45.0
5405	Leipziger Str.	49	44.6
1556	A 100 BAB Stadtring	42	42.1
6392	Friedrichstr.	78	41.9
1554	A 100 BAB Stadtring	44	41.5
1201	Stromstr.	97	38.2
11176	Kapweg	99	37.9
5106	Brückenstr.	99	37.8
5404	Leipziger Str.	95	37.5
3142	Mariendorfer Damm	128	37.1
1177	Spandauer Damm	83	36.9
7179	Hermannstr.	66	36.6
1508	Behrenstr.	92	36.1

Tabelle 7 Abschnitte mit einem modellierten NO₂-Jahresmittelwert > 36 µg/m³ für das Szenario V19/F21

Der PM10-Jahresgrenzwert in Höhe von 40 µg/m³ wird in allen Screeningberechnungen nicht überschritten. Der zum Tagesgrenzwert korrespondierende PM10-Jahresmittelwert in Höhe von 30 µg/m³ wird an neun Abschnitten (Tabelle 8) mit einer Gesamtlänge von 982 m überschritten. Unter Berücksichtigung von Fehlermargen von 5 % (28,5 µg/m³) und 10 % (27 µg/m³) sind 42 (Tabelle 8) bzw. 162 Abschnitte mit Längen von 4,7 km bzw. 19,3 km potenziell von Grenzwertüberschreitungen betroffen.

Der seit 2015 geltende PM2.5-Grenzwert in Höhe von 25 µg/m³ wird in der Berechnung an einem Abschnitt in der Nobelstraße bereits in der Vorbelastung überschritten. Unter Berücksichtigung einer Fehlermarge von 5 % (23,75 µg/m³) bzw. 10 % (22,5 µg/m³) ist dies aber bei keinem weiteren Abschnitt der Fall.

IMMIS-ID	Name	Länge [m]	JMW PM10 SzenarioV19/F21 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1524	Leipziger Str.	110	35.9
6049	Leipziger Str.	110	34.8
6391	Friedrichstr.	58	33.7
7379	Nobelstr.	167	33.5
1557	A 100 BAB Stadtring	112	32.4
5405	Leipziger Str.	49	32.4
6392	Friedrichstr.	78	32.2
5106	Brückenstr.	99	31.0
2281	A 100 BAB Stadtring	199	30.7
1556	A 100 BAB Stadtring	42	29.8
1201	Stromstr.	97	29.7
1554	A 100 BAB Stadtring	44	29.6
2153	Invalidenstr.	125	29.5
11176	Kapweg	99	29.4
1253	Turmstr.	93	29.4
5404	Leipziger Str.	95	29.3
4983	Torstr.	159	29.2
3142	Mariendorfer Damm	128	29.2
11910	Badstr.	76	29.1
7179	Hermannstr.	66	29.1
6105	Torstr.	196	29.1
11027	Beusselstr.	170	29.1
4918	Rudi-Dutschke-Str.	84	29.0
11235	Müllerstr.	120	29.0
5595	Rosenthaler Str.	86	29.0
181	Beusselstr.	183	29.0
11234	Müllerstr.	139	29.0
1955	Wilhelmstr.	149	29.0
12716	Schönholzer Str.	75	28.9
10969	An der Putlitzbrücke	35	28.9
11953	Prinzenallee	85	28.9
11882	Fennstr.	181	28.9
13462	Badstr.	107	28.8
1508	Behrenstr.	92	28.8
1255	Turmstr.	128	28.7
6139	Oranienstr.	84	28.7
4896	Elsenstr.	71	28.7
5109	Brückenstr.	107	28.6
5599	Rosenthaler Str.	115	28.6
4982	Torstr.	249	28.6
11239	Müllerstr.	126	28.5

Tabelle 8 Abschnitte mit einem modellierten PM10-Jahresmittelwert > 28.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Szenario V19/F21

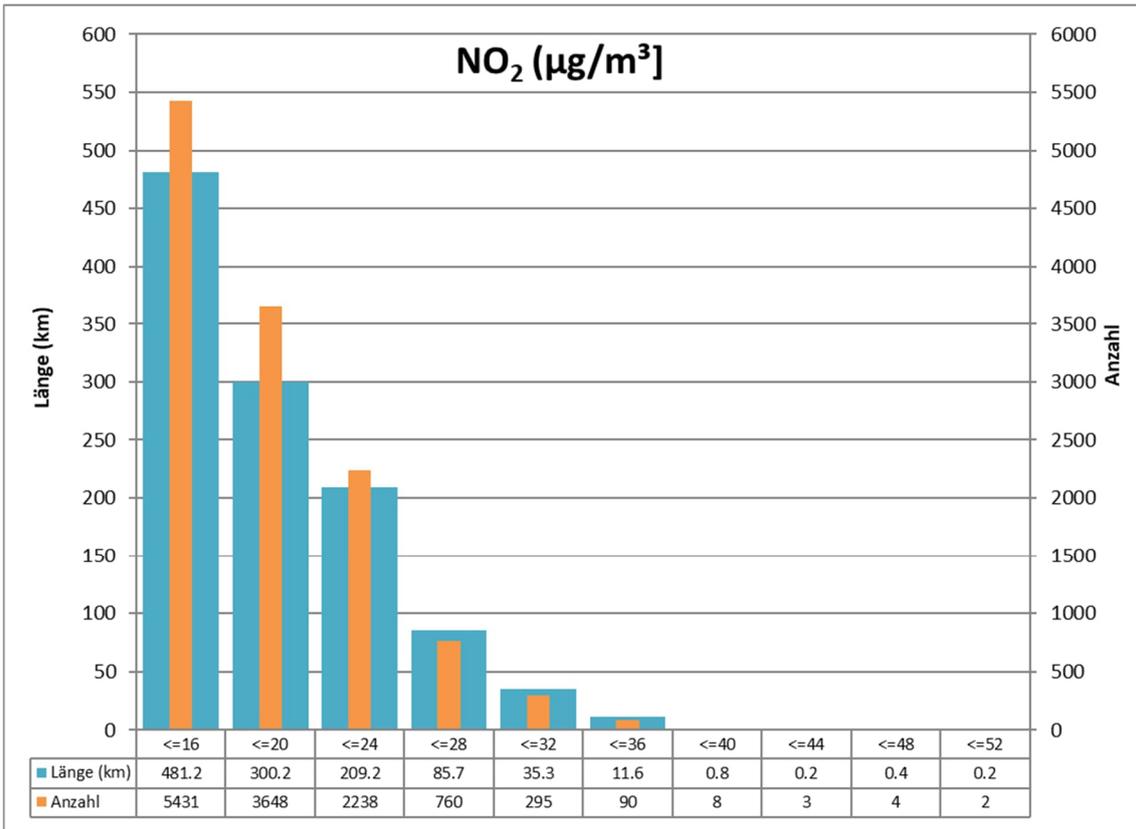


Abbildung 22 Histogramme der Anzahl bzw. Längen von Screeningabschnitten in Konzentrationsklassen für NO₂ das Szenario V19/F21

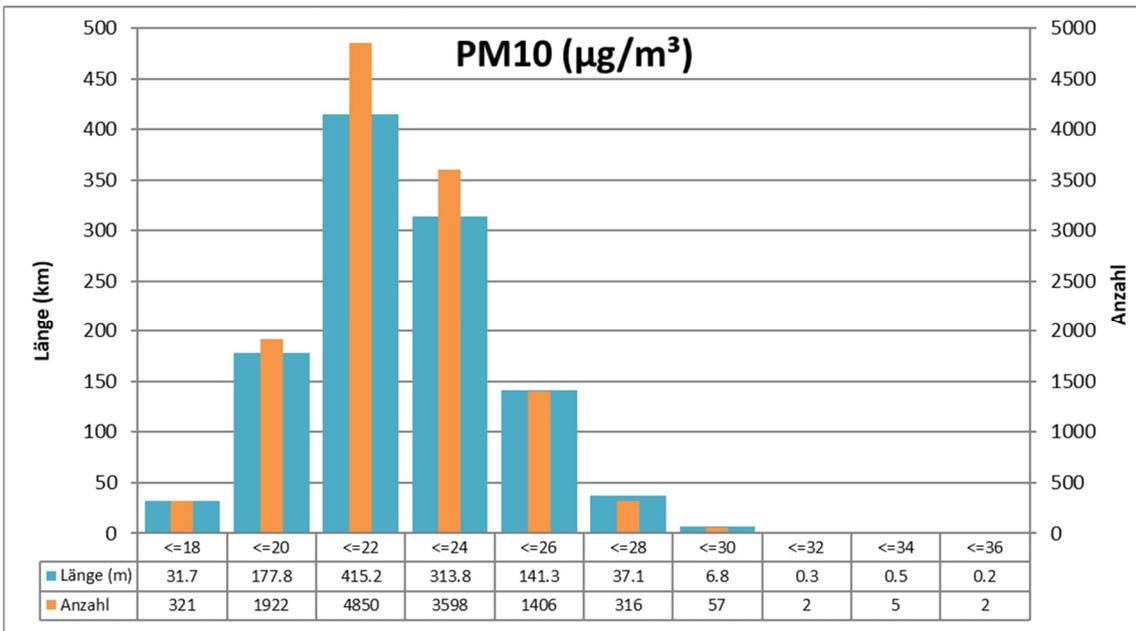


Abbildung 23 Histogramme der Anzahl bzw. Längen von Screeningabschnitten in Konzentrationsklassen für PM10 das Szenario V19/F21

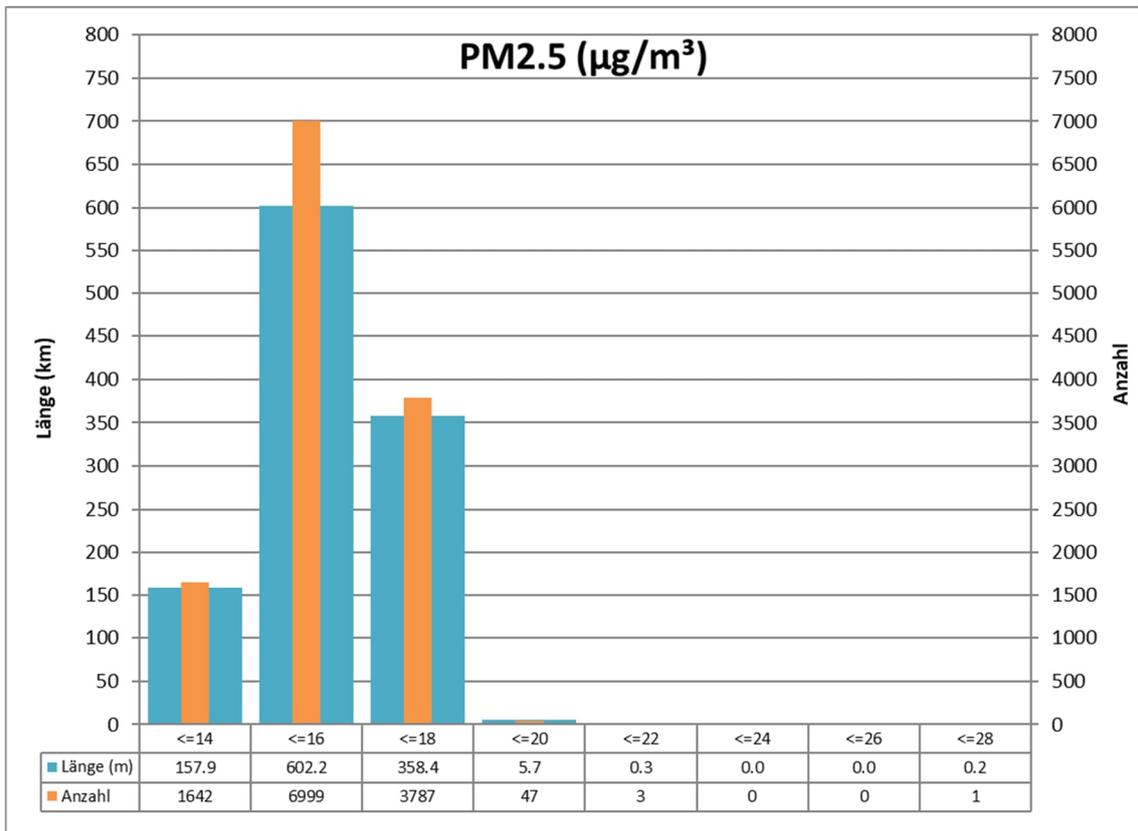


Abbildung 24 Histogramme der Anzahl bzw. Längen von Screeningabschnitten in Konzentrationsklassen für PM2.5 das Szenario V19/F21

4.4 Luftschadstoffbelastung für ausgewählte Abschnitte mit Verkehrsdaten 2021 (Szenario V21/F21)

Für 36 ausgewählte IMMIS^{luft}-Abschnitte wurde die Berechnung der Luftschadstoffbelastung auf Basis aktualisierter Verkehrsdaten in 35 Gebieten im Stadtgebiet (Abschnitt 2.3) erneut durchgeführt (Szenario V21/F21). Diese 36 IMMIS^{luft}-Abschnitte sind in Tabelle 9 in alphabetischer Reihenfolge mit ID, Straßennamen und der ID der Messstation, soweit vorhanden, und Art der Quelle aufgeführt. Bei den Abschnitten aus drei Quellen handelt es sich um

- a. 20 IMMIS^{luft}-Abschnitte in 19 Gebieten, denen eine NO₂-Messstation zugeordnet ist. In der Leipziger Straße gibt es zwei IMMIS^{luft}-Abschnitte mit einer zugeordneten Messstation, was in der Spalte Quelle mit „Messung“ markiert ist.
- b. 3 IMMIS^{luft}-Abschnitte in drei weiteren Gebieten, mit zugeordnetem TEU Quelle
- c. 13 IMMIS^{luft}-Abschnitte in den verbleibenden Gebieten mit dem jeweils höchstem NO₂-Jahresmittelwert im Gebiet nach Abschnitt 4.3.2, was in der Spalte Quelle mit „max NO₂“ markiert ist

Die modellierten Jahresmittelwerte für das Szenario V19/F21 sind den Modellergebnissen in Szenario V21/F21 für NO₂ und NO_x in Tabelle 10 und für PM10 und PM2.5 in Tabelle 11 gegenübergestellt. In den meisten Fällen liegen die für das Szenario V21/F21 berechneten Konzentrationen unter den Werten des Szenarios V19/F21 mit den Verkehrsdaten aus 2019. Im Mittel liegen mit den Verkehrsdaten aus 2021 im Szenario V21/F21 die NO₂-Konzentrationen um 4,9 % (-1,7 µg/m³) und die NO_x-Konzentrationen um 7 % (-5,1 µg/m³) unter den Konzentrationen mit den Verkehrsdaten aus 2019 im Szenario V19/F21. Bei PM10 beträgt die mittlere Veränderung -2,5 % (-0,7 µg/m³) und bei PM2.5 -1,4 % (-0,3 µg/m³). Die Unterschiede sind ausschließlich in den unterschiedlichen Verkehrsdaten in Bezug auf Verkehrsmengen und Aufteilung der Verkehrsqualität begründet. Dem entsprechend liegen bei zwei Abschnitten der Karl-Marx-Straße die Konzentrationen mit den Verkehrsdaten aus 2021 über den Werten mit den Verkehrsdaten aus 2019. Aufgrund des höheren Anteils der lokalen Verkehrsemissionen an den NO₂-Konzentrationen ist die Änderung bei diesem Schadstoff stärker ausgeprägt als bei PM. In den zwei Abschnitten Badstraße (ID 13461) und Mehringdamm (ID 856), sind die Veränderungen nahe 0% und im Vergleich NO₂ und PM gegenläufig. Diese Gegenläufigkeit begründet sich im unterschiedlichen Verhalten der NO_x- und PM-Emissionen in den verschiedenen LOS-Stufen für die einzelnen Kfz-Typen.

ID	Name	ID Messnetz	Quelle
4268	Albrechtstr.		max NO ₂
96	Alt-Moabit	MS537	Messung
13461	Badstr.	MS573	Messung
5106	Brückenstr.	MS601	Messung
12896	Breite Str.		max NO ₂
289	Dominicusstr.		TEU
1958	Dorotheenstr.		max NO ₂
5193	Frankfurter Allee	MC174	Messung
6391	Friedrichstr.	MS611	Messung
7179	Hermannstr.		TEU
535	Joachimsthaler Str.		max NO ₂
1772	Kantstr.	MS528	Messung
7214	Karl-Marx-Str.		max NO ₂
7217	Karl-Marx-Str.		TEU
9981	Klosterstr.	MS576	Messung
5816	Landsberger Allee	MS547	Messung
1524	Leipziger Str.	MC190	Messung
6049	Leipziger Str.	MS525	Messung
11205	Luxemburger Str.		max NO ₂
11234	Müllerstr.		max NO ₂
3153	Mariendorfer Damm	MC124	Messung
844	Martin-Luther-Str.	MS625	Messung
856	Mehringdamm	MS624	Messung
10078	Oranienburger Str.		max NO ₂
1672	Reinhardtstr.	MS607	Messung
11357	Residenzstr.		max NO ₂
12716	Schönholzer Str.		max NO ₂
11425	Scharnweberstr.		max NO ₂
3500	Schildhornstr.	MC117	Messung
7502	Silbersteinstr.	MC143	Messung
7723	Sonnenallee	MS545	Messung
1177	Spandauer Damm	MS531	Messung
1200	Stromstr.	MS605	Messung
4983	Torstr.	MS612	Messung
1253	Turmstr.		max NO ₂
1955	Wilhelmstr.		max NO ₂

Tabelle 9 Ausgewählte IMMIS^{luft}-Abschnitte für die Modellierung mit Verkehrsdaten 2021 im Szenario V21/F21 (Spalte Quelle: siehe Text)

ID	Name	NO ₂ [µg/m ³]			NO _x [µg/m ³]		
		Szenario V21/F21	Szenario V19/F21	Veränderung	Szenario V21/F21	Szenario V19/F21	Veränderung
4268	Albrechtstr.	28.5	29.9	-4.9%	53.4	57.2	-6.7%
96	Alt-Moabit	32.3	35.4	-8.8%	63.7	72.9	-12.7%
13461	Badstr.	28.3	28.4	-0.4%	54.0	54.1	-0.2%
5106	Brückenstr.	35.9	37.8	-5.1%	73.4	79.3	-7.5%
12896	Breite Str.	29.9	31.4	-5.0%	58.3	62.7	-7.1%
289	Dominicusstr.	29.4	30.6	-4.0%	53.9	57.3	-6.0%
1958	Dorotheenstr.	31.5	33.7	-6.6%	59.8	65.9	-9.3%
5193	Frankfurter Allee	24.7	25.4	-2.7%	43.5	45.3	-4.0%
6391	Friedrichstr.	40.3	45.0	-10.5%	87.2	102.9	-15.3%
7179	Hermannstr.	34.2	36.6	-6.6%	67.2	74.1	-9.3%
535	Joachimsthaler Str.	31.7	34.2	-7.3%	60.1	67.0	-10.3%
1772	Kantstr.	29.4	32.3	-8.8%	54.1	62.2	-13.1%
7214	Karl-Marx-Str.	28.8	27.2	5.9%	53.9	49.6	8.6%
7217	Karl-Marx-Str.	28.9	27.9	3.6%	53.7	51.1	5.1%
9981	Klosterstr.	27.2	29.0	-6.2%	53.3	58.2	-8.4%
5816	Landsberger Allee	27.4	27.7	-1.1%	49.1	49.9	-1.6%
1524	Leipziger Str.	46.7	50.7	-7.9%	108.6	123.3	-11.9%
6049	Leipziger Str.	45.6	49.3	-7.5%	105.6	119.2	-11.4%
11205	Luxemburger Str.	28.2	29.8	-5.5%	51.5	55.9	-7.9%
11234	Müllerstr.	30.9	33.1	-6.8%	59.8	66.3	-9.8%
3153	Mariendorfer Damm	27.9	30.2	-7.6%	51.8	57.9	-10.5%
844	Martin-Luther-Str.	30.9	33.0	-6.4%	59.5	65.6	-9.3%
856	Mehringdamm	32.9	32.8	0.2%	64.3	64.2	0.2%
10078	Oranienburger Str.	28.3	29.6	-4.5%	56.2	59.8	-5.9%
1672	Reinhardtstr.	31.2	33.9	-7.8%	61.5	69.4	-11.4%
11357	Residenzstr.	31.5	31.8	-0.8%	62.8	63.6	-1.2%
12716	Schönholzer Str.	32.2	34.0	-5.3%	64.9	70.1	-7.4%
11425	Scharnweberstr.	30.2	31.8	-5.2%	54.8	59.5	-8.0%
3500	Schildhornstr.	32.7	34.0	-3.7%	66.6	70.4	-5.3%
7502	Silbersteinstr.	26.7	27.5	-2.9%	47.9	50.0	-4.2%
7723	Sonnenallee	28.0	29.2	-4.1%	50.9	54.1	-5.9%
1177	Spandauer Damm	35.2	36.9	-4.4%	76.8	81.9	-6.3%
1200	Stromstr.	24.9	25.9	-3.9%	44.0	46.7	-5.7%
4983	Torstr.	32.2	34.1	-5.6%	62.7	68.4	-8.3%
1253	Turmstr.	30.2	33.5	-9.9%	57.4	66.6	-13.8%
1955	Wilhelmstr.	31.6	34.3	-7.9%	59.9	67.4	-11.2%

Tabelle 10 Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte NO₂ und NO_x für Szenario V19/F21 und V21/F21 mit Angabe der Veränderung

ID	Name	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			PM2.5 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
		Szenario V21/F21	Szenario V19/F21	Veränderung	Szenario V21/F21	Szenario V19/F21	Veränderung
4268	Albrechtstr.	25.9	26.6	-2.5%	16.9	17.1	-1.2%
96	Alt-Moabit	27.0	28.2	-4.1%	17.6	18.0	-2.5%
13461	Badstr.	27.8	27.6	0.7%	17.7	17.6	0.6%
5106	Brückenstr.	30.1	31.0	-2.6%	19.0	19.3	-1.6%
12896	Breite Str.	27.1	27.7	-2.3%	17.1	17.4	-1.5%
289	Dominicusstr.	25.1	25.5	-1.7%	17.2	17.4	-1.1%
1958	Dorotheenstr.	26.9	27.7	-2.8%	17.3	17.6	-1.6%
5193	Frankfurter Allee	25.0	25.3	-1.2%	17.0	17.2	-1.1%
6391	Friedrichstr.	30.7	33.7	-8.8%	18.6	19.0	-2.5%
7179	Hermannstr.	28.1	29.1	-3.5%	18.2	18.6	-2.0%
535	Joachimsthaler Str.	27.3	28.4	-3.7%	17.1	17.5	-2.0%
1772	Kantstr.	25.3	26.3	-4.0%	16.4	16.9	-3.2%
7214	Karl-Marx-Str.	24.9	24.3	2.4%	17.4	17.2	1.0%
7217	Karl-Marx-Str.	25.2	24.8	1.8%	17.2	17.1	0.8%
9981	Klosterstr.	24.6	25.3	-2.9%	15.7	16.0	-1.7%
5816	Landsberger Allee	26.0	26.1	-0.3%	17.4	17.5	-0.4%
1524	Leipziger Str.	33.9	35.9	-5.6%	20.8	21.5	-3.4%
6049	Leipziger Str.	33.0	34.8	-5.1%	20.1	20.9	-3.9%
11205	Luxemburger Str.	27.0	27.6	-2.2%	17.1	17.4	-1.6%
11234	Müllerstr.	28.2	29.0	-2.8%	17.3	17.7	-1.9%
3153	Mariendorfer Damm	26.0	27.0	-3.6%	17.6	17.9	-1.9%
844	Martin-Luther-Str.	25.7	26.4	-2.8%	17.8	18.1	-2.0%
856	Mehringdamm	26.9	26.9	-0.2%	18.1	18.2	-0.5%
10078	Oranienburger Str.	25.4	26.1	-2.7%	15.9	15.8	0.3%
1672	Reinhardtstr.	26.3	27.4	-4.2%	17.2	17.5	-1.7%
11357	Residenzstr.	27.0	27.1	-0.3%	17.4	17.5	-0.4%
12716	Schönholzer Str.	28.2	28.9	-2.6%	17.6	17.9	-1.6%
11425	Scharnweberstr.	25.1	25.7	-2.2%	16.6	16.8	-1.5%
3500	Schildhornstr.	26.0	26.4	-1.7%	17.9	18.1	-1.1%
7502	Silbersteinstr.	25.2	25.5	-1.2%	17.5	17.6	-0.8%
7723	Sonnenallee	25.7	26.2	-2.1%	17.4	17.6	-1.3%
1177	Spandauer Damm	27.0	28.0	-3.4%	16.9	17.1	-0.9%
1200	Stromstr.	25.4	25.8	-1.3%	16.6	16.8	-1.0%
4983	Torstr.	28.5	29.2	-2.6%	17.9	18.2	-1.8%
1253	Turmstr.	27.9	29.4	-4.8%	17.1	17.5	-2.1%
1955	Wilhelmstr.	27.7	29.0	-4.3%	17.2	17.5	-2.0%

Tabelle 11 Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte PM10 und PM2.5 Szenario V19/F21 und V21/F21 mit Angabe der Veränderung

4.5 Gegenüberstellung Messung-Modell

4.5.1 Gegenüberstellung für das Szenario V19/F21

Für die Gegenüberstellung der IMMIS^{luft}-Ergebnisse für NO₂ aus dem Szenario V19/F21 mit Messungen aus 2021 wurden die Messdaten der kontinuierlich messenden BLUME-Stationen und die Messdaten von Passivsammlern herangezogen. Dazu liegen für 44 Verkehrs-Messstationen Messdaten vor. Für die Karl-Marx-Straße liegen für 2021 nur bis zur Jahresmitte Messwerte für MC220 und für die zweite Jahreshälfte für MC221 vor (Umzug wegen Baustelle). Diese Daten wurden nicht verwendet. Diese Gegenüberstellung ist in Tabelle 12 aufgeführt. Darin wird neben dem Straßennamen die Messnetz-ID und die ID des IMMIS^{luft}-Abschnitts angegeben. Die Liste ist aufsteigend nach der Messnetz ID sortiert. Eine Ausnahme bei dieser Sortierung bilden die Passivsammler in der Silbersteinstraße (MS620 und MS 621) und der Leipziger Straße (MS613), die am selben IMMIS^{luft}-Abschnitt liegen wie ein Messcontainer für die kontinuierliche Messung. Wie zu erwarten, werden die Messergebnisse durch die Modellierung sowohl unter- als auch überschätzt. Im Mittel beträgt die Überschätzung 6,8 % bzw. ist der Unterschied zwischen den gemittelten NO₂-Konzentrationen 10,0 %. Da bei der Modellierung die Verkehrsdaten aus 2019 verwendet wurden (Szenario V19/F21) ist eine detaillierte Diskussion über die Unterschiede zwischen Messungen und Modellwerten hier nicht sinnvoll.

Straßenname	ID Messnetz	ID	NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
			Messung 2021	IMMIS ^{luft}	Abweichung
Schildhornstr.	MC117	3500	29.9	34.0	13.8%
Mariendorfer D.	MC124	3153	33.4	30.2	-9.6%
Silbersteinstr.	MC143	7502	34.9	27.5	-21.1%
Silbersteinstr.	MS620		25.5	27.5	8.0%
Silbersteinstr.	MS621		23.7	27.5	16.0%
Frankfurter Allee	MC174	5193	27.7	25.4	-8.1%
Leipziger Straße	MC190	1524	29.3	50.7	73.1%
Leipziger Straße	MS613		28.7	50.7	76.4%
Berliner Allee	MS501	12861	30.9	30.0	-3.0%
Beusselstr.	MS504	181	29.4	32.4	10.3%
Potsdamer Str. 102	MS505	1006	31.2	31.8	2.0%
Michael-Brückner-Str.	MS507	7649	31.7	27.6	-12.8%
Alt Friedrichsfelde	MS514	5894	33.9	29.6	-12.8%
Leipziger Str.	MS525	6049	31.4	49.3	56.6%
Kantstr.	MS528	1772	23.8	32.3	35.4%
Hauptstr.	MS530	418	31.4	32.7	4.2%
Spandauer Damm	MS531	1177	37.8	36.9	-2.6%
Hermannstr.	MS533	7182	34.4	32.4	-5.9%
Alt Moabit	MS537	96	31.0	35.4	14.2%
Schlobstr.	MS539	3512	32.4	25.9	-20.1%
Tempelhofer Damm	MS542	3919	31.9	33.5	5.1%
Sonnenallee	MS545	7723	35.0	29.2	-16.7%
Landsberger Allee	MS547	5816	33.2	27.7	-16.4%
Herrmannplatz	MS555	4906	36.0	31.1	-13.4%
Buschkrugallee	MS559	6978	47.2	26.4	-44.1%
Friedrichstr.	MS562	4930	17.4	29.7	70.9%
Badstr.	MS573	13461	35.2	28.4	-19.2%
Klosterstr.	MS576	9981	29.4	29.0	-1.2%
Eichborndamm	MS579	11048	27.2	24.2	-11.0%
Markgrafendamm	MS581	5457	28.1	24.5	-12.7%
Invalidenstr.	MS582	1484	26.8	32.7	22.0%
Brückenstr.	MS601	5105	27.6	22.1	-19.6%
Kaiser-Friedrich-Str.	MS602	2219	28.3	31.6	11.9%
Leonorenstr.	MS603	3022	30.5	33.7	10.8%
Martin-Luther-Str.	MS604	822	22.5	27.6	22.7%
Stromstr.	MS605	1200	19.7	25.9	31.4%
Reinhardtstr.	MS607	1672	20.8	33.9	62.5%
Oranienstr.	MS608	6138	29.9	21.9	-26.7%
Elsenstr.	MS609	4896	32.5	35.1	8.1%
Erkst.	MS610	7032	31.3	33.0	5.5%
Friedrichstr.	MS611	6391	24.0	45.0	87.6%
Torstr.	MS612	4983	30.1	34.1	13.2%
Mariendorfer Damm	MS622	3142	35.5	37.1	4.6%
Saarstr.	MS623	3447	25.7	31.1	21.0%
Mehringdamm	MS624	856	40.0	32.8	-17.8%
Martin-Luther-Str.	MS625	844	27.6	33.0	19.4%
Spiegelweg	MS626	2281	28.2	45.4	61.2%
Danziger Str.	MS627	13984	28.6	30.8	7.7%
		Mittelwerte	30.1	32.1	6.8%
		Mittlere Abweichung			10.0%

Tabelle 12 Gegenüberstellung der NO₂-Jahresmittelwerte von Modell (IMMIS^{luft}) mit Messung an verkehrsnahen Messstationen für das Szenario V19/F21

4.5.2 Gegenüberstellung für das Szenario V21/F21

Eine weitere Gegenüberstellung der modellierten NO₂-Jahresmittelwerte ergänzt um die Modellergebnisse auf Basis der Verkehrsdaten 2021 (Szenario V21/F21) mit Messwerten 2021 ist für die Abschnitte, für die die Modellierung auf Basis von Verkehrsdaten 2021 durchgeführt wurden, in Tabelle 13 dargestellt. Dieser Vergleich ist zusätzlich in Abbildung 25 in einem Streudiagramm dargestellt.

Bei der Gegenüberstellung der Konzentrationen ist zu berücksichtigen, dass die allgemeine Datengrundlage für die Modellierung aus den Modellberechnungen für den Luftreinhalteplan Berlin² entnommen wurden. So wurde für die hier vorliegenden Berechnungen die Straßenraumgeometrie nicht überprüft und die Vorbelastung nur teilweise aktualisiert (siehe Abschnitt 4.3.1). Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Modellierung mit dem Screeningverfahren IMMIS^{luft} durchgeführt wurden, welches von standardisierten Annahmen zur Lage des Beurteilungspunkts und der Emissionsquellen im Straßenraum ausgeht (siehe Abschnitt 4.1.3). Für eine detaillierte Diskussion des Vergleichs müssten sowohl diese Beurteilungspunkte mit den Messeinlässen der Messstationen als auch die Emissionsquellen mit der tatsächlichen Fahrbahnlage für jeden Einzelfall verglichen werden.

Im Mittel und für die überwiegende Anzahl der Abschnitte werden die NO₂-Konzentrationen durch das Screeningverfahren überschätzt. Das entspricht auch der Grundanforderung an ein Screeningverfahren, in der Tendenz eher konservativ zu rechnen. In den Fällen, in denen das Modell überschätzt, geht die Überschätzung und auch die mittlere Überschätzung bei Nutzung der Verkehrsdaten aus 2021 in Szenario V21/F21 gegenüber dem Szenario V19/F21 z. T. deutlich zurück. In den Fällen der Unterschätzung in Szenario V19/F21 ist mit den Verkehrsdaten aus 2021 im Szenario V21/F21 in den meisten Fällen nur eine geringe Erhöhung dieser Unterschätzung festzustellen. Diese Effekte sind auch gut im Streudiagramm in Abbildung 25 zu erkennen.

Unter Berücksichtigung der Datenqualitätsziele der 39. BImSchV in Höhe von 30 % des NO₂-Jahresmittelwerts liegt für sechs Messorte die Überschätzung außerhalb dieses Bereichs. Dabei wird in der Brückenstraße diese Toleranz mit 30,3 % nur knapp überschritten und tritt die erhöhte Überschreitung an drei Abschnitten der Leipziger Straße auf. Auf die Leipziger Straße wird in Abschnitt 4.5.3 ausführlicher eingegangen.

Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass die Messwerte für den NO₂-Jahresmittelwert in sogenannten Hotspots sowohl in Berlin als auch in Deutschland in den letzten Jahren sehr stark zurückgegangen sind. So wurden in 2019 noch an 25 Messstationen NO₂-Überschreitungen gemessen, in 2021 nur noch an drei. Auch in den in Tabelle 13 aufgeführten Messwerten wird der derzeit gültige Jahreshgrenzwert von NO₂ in Höhe von 40 µg/m³ nicht überschritten. Die Messwerte liegen zum Großteil sogar deutlich unter diesem Wert. Damit stellt sich die Aufgabenstellung eines Screeningverfahren etwas anders dar als bisher, bei dem es darum ging, Abschnitte mit potenziellen Grenzwertüberschreitungen zu identifizieren und Konzentrationsbereiche deutlich unterhalb dieser Schwelle nicht weiter zu betrachten.

Straßenname	ID Mess-netz	Messung 2021 [µg/m³]	IMMIS ^{luft} [µg/m³] Sz. V19/F21	IMMIS ^{luft} [µg/m³] Sz. V21/F21	Abweichung Sz. V19/F21	Abweichung Sz. V21/F21
Silbersteinstr.	MC143	34,9	27,5	26,7	-21,1%	-23,4%
Sonnenallee	MS545	35,0	29,2	28,0	-16,7%	-20,1%
Badstr.	MS573	35,2	28,4	28,3	-19,2%	-19,5%
Mehringdamm	MS624	40,0	32,8	32,9	-17,8%	-17,7%
Landsberger Allee	MS547	33,2	27,7	27,4	-16,4%	-17,4%
Mariendorfer D.	MC124	33,4	30,2	27,9	-9,6%	-16,5%
Frankfurter Allee	MC174	27,7	25,4	24,7	-8,1%	-10,6%
Klosterstr.	MS576	29,4	29,0	27,2	-1,2%	-7,3%
Spandauer Damm	MS531	37,8	36,9	35,2	-2,6%	-6,9%
Alt Moabit	MS537	31,0	35,4	32,3	14,2%	4,2%
Silbersteinstr.	MS620	25,5	27,5	26,7	8,0%	4,8%
Torstr.	MS612	30,1	34,1	32,2	13,2%	6,8%
Schildhornstr.	MC117	29,9	34,0	32,7	13,8%	9,6%
Martin-Luther-Str.	MS625	27,6	33,0	30,9	19,4%	11,8%
Silbersteinstr.	MS621	23,7	27,5	26,7	16,0%	12,6%
Kantstr.	MS528	23,8	32,3	29,4	35,4%	23,5%
Stromstr.	MS605	19,7	25,9	24,9	31,4%	26,3%
Brückenstr.	MS601	27,6	37,8	35,9	37,3%	30,3%
Leipziger Str.	MS525	31,4	49,3	45,6	56,6%	44,9%
Reinhardtstr.	MS607	20,8	33,9	31,2	62,5%	49,9%
Leipziger Straße	MC190	29,3	50,7	46,7	73,1%	59,4%
Leipziger Str.	MS613	28,7	50,7	46,7	76,4%	62,4%
Friedrichstr.	MS611	24,0	45,0	40,3	87,6%	67,9%
Mittelwerte		29,6	34,1	32,2	18,8%	12,0%
Abweichung			15,4%	8,7%	15,4%	9,0%

Tabelle 13 Gegenüberstellung der modellierten NO₂-Jahresmittelwerte auf Basis der Verkehrsdaten 2019 Szenario V19/F21 und 2021 (Szenario V21/F21) mit Messwerten 2021 mit Angabe der relativen Abweichung zur Messung, sortiert nach aufsteigender Abweichung.

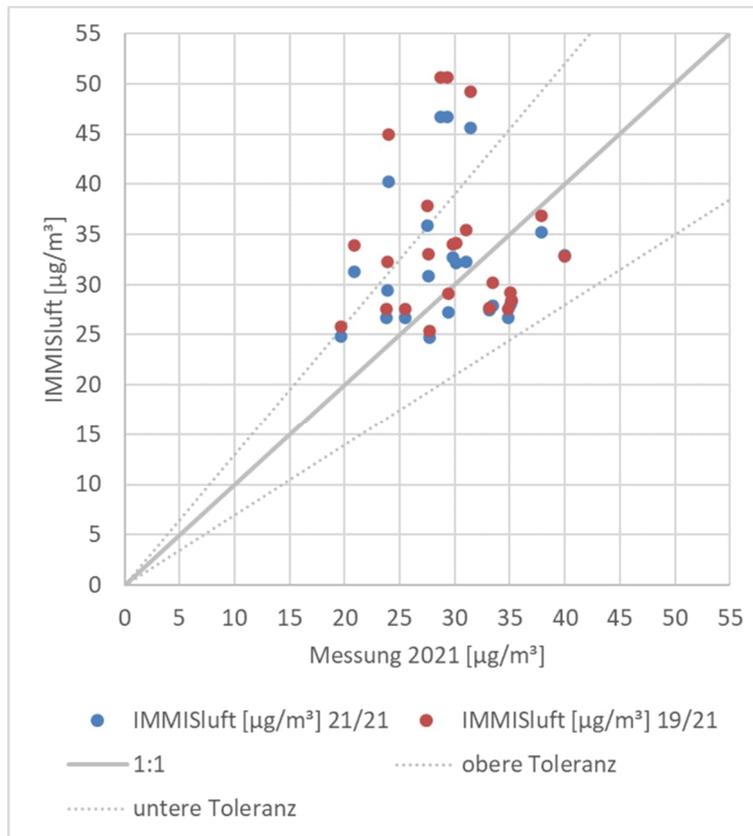


Abbildung 25 Vergleich Modellwerte mit Messung an Hotspots als Streudiagramm für NO_2 -Jahresmittelwerte auf Basis der Verkehrsdaten 2019 (Szenario V19/F21, rot) und 2021 (Szenario V21/F21, blau) mit eingezeichneten Toleranzlinien (Datenqualitätsziele der 39. BImSchV)

4.5.3 Diskussion

Im Folgenden werden einige Aspekte der Gegenüberstellung der Messungen und Modellwerte diskutiert. Dazu werden in Tabelle 14 nochmals die Ergebnisse der hier durchgeführten IMMIS^{luft}-Berechnungen für das Bezugsjahr 2021 mit den Verkehrsdaten aus 2021 (Szenario V21/F21) den entsprechenden Messungen und zusätzlich die analogen Berechnungen aus den Modellrechnungen für den Berliner Luftreihalteplan² den Messungen für das Bezugsjahr 2015 gegenübergestellt. In diesem Vergleich wird auch nochmal deutlich, wie stark die gemessene NO_2 -Belastung in Berlin über einen Zeitraum von sechs Jahren abgenommen hat. Aus dieser Gegenüberstellung ist ebenfalls ablesbar, dass unter Berücksichtigung der relativen Abweichungen der Vergleich mal für das Bezugsjahr 2021 und mal für 2015 besser oder schlechter ausfällt, also keine eindeutige Tendenz zu erkennen ist.

Aus diesem Vergleich wird die zeitliche Entwicklung der Belastungssituation von drei Hotspots detaillierter ausgewertet:

- Leipziger Straße (MS525) als Hotspot mit der höchsten NO_2 -Belastung in 2015
- Mariendorfer Damm (MC124) und Frankfurter Allee (MC174) als Beispiele für eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Modell in 2015

Straßenname	ID Mess- netz	Messung 2021 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	IMMIS ^{luft} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Sz. V21/F21	Messung 2015 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	LRP 2015 IMMIS ^{luft} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Abw. 2021 (Sz. V21/F21)	Abw. LRP 2015 IM- MISluft [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Silbersteinstr.	MC143	34,9	26,7	52,0	48,6	-23,4%	-6,5%
Sonnenallee	MS545	35,0	28,0	59,0	50,6	-20,1%	-14,2%
Badstr.	MS573	35,2	28,3	55,0	40,0	-19,5%	-27,2%
Landsberger Allee	MS547	33,2	27,4	55,0	38,5	-17,4%	-30,1%
Mariendorfer D.	MC124	33,4	27,9	49,0	48,7	-16,5%	-0,7%
Frankfurter Allee	MC174	27,7	24,7	41,0	39,7	-10,6%	-3,2%
Klosterstr.	MS576	29,4	27,2	54,0	53,5	-7,3%	-1,0%
Spandauer Damm	MS531	37,8	35,2	59,0	52,4	-6,9%	-11,2%
Alt Moabit	MS537	31,0	32,3	60,0	56,5	4,2%	-5,8%
Schildhornstr.	MC117	29,9	32,7	48,0	51,4	9,6%	7,1%
Kantstr.	MS528	23,8	29,4	49,0	50,1	23,5%	2,2%
Leipziger Str.	MS525	31,4	45,6	73,0	78,9	44,9%	8,1%
Mittelwerte		29,6	32,2	54,5	50,7	12,0%	-6,9%
Abweichung						9,0%	-6,9%

Tabelle 14 Gegenüberstellung der modellierten NO₂-Jahresmittelwerte auf Basis der Verkehrsdaten 2021 (Szenario V21/F21) mit Messwerten 2021 und der Messwerte für 2015 und der Modellwerte aus dem LRP Berlin mit Angabe der relativen Abweichung zur Messung, sortiert nach aufsteigender Abweichung für das Bezugsjahr 2021.

In Tabelle 15 ist die zeitliche Entwicklung der in der Leipziger Str. (MS525) gemessenen NO₂-Konzentration ausgewählten Modelldaten gegenübergestellt. Zusätzlich ist jeweils die Veränderung der einzelnen Daten im Vergleich zu den Werten aus 2015 angegeben. Die Modellwerte für 2015 stammen aus den Modellberechnungen für den Luftreinhalteplan Berlin². Die Modellwerte für 2019 sind dem hier berechneten Szenario V19/F21 entnommen und deshalb in grau dargestellt und die Modellwerte für 2021 dem Szenario V21/F21.

Wie schon in Tabelle 14 aufgeführt, wurde der Extremwert der NO₂-Messungen in 2015 in Höhe von 73,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Leipziger Straße durch das Modell mit 78,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit einer Überschätzung von 8,1 % gut getroffen. Die NO₂-Messung ging bis 2018 in unterschiedlich großen Schritten zurück. Eine größere absolute Minderung von über 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf das Vorjahr bzw. 34,3 % bezogen auf 2015 wurde in 2019 festgestellt. Im Szenario V19/F21 lag die Minderung des NO₂-Jahresmittelwerts bezogen auf 2015 in der gleichen Größenordnung, was sich auch gut durch die Veränderung der NO_x-Emissionen und der Minderung der Vorbelastung erklären lässt. Hierbei ist aber zu beachten, dass in 2019 bei der Kfz-Flotte bereits die Flotte von 2021 und bei der Vorbelastung ebenfalls die Werte von 2021 angesetzt wurden. Die größte absolute Minderung der NO₂-Messung fand dann von 2019 nach 2020 mit 14,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ statt, der sich in 2021 nochmal um 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf 16,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ erhöhte, was im Vergleich zu 2015 ein Rückgang von 56,9 % bedeutet. Dieser starke Rückgang der NO₂-Belastung kann durch das Modell

nicht wiedergegeben werden. Der Rückgang im Modell liegt nur bei 42,3 % und folgt damit der Minderung der NO_x-Emissionen des Kfz-Verkehrs und der Minderung der Vorbelastung¹⁹.

Jahr	Messung NO ₂ (µg/m ³)	Modell NO ₂ (µg/m ³)	DTV (Kfz/Ta g)	EM. NO _x (g/m ³ *d)	Anteil LOS4+5 (%)	Vorbel. NO _x (µg/m ³)	Änderung zu 2015					
							Messung NO ₂	Modell NO ₂	DTV	EM. NO _x	Anteil LOS4+5	Vorbel. NO _x
2015	73,0	78,9	42.570	27,6	15,3	35,7	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2016	66,1						-9,5%					
2017	63,0						-13,6%					
2018	58,5						-19,8%					
2019	48,0	49,3	41.940	18,9	9,7	27,8	-34,3%	-37,6%	-1,5%	-31,7%	-36,6%	-22,3%
2020	33,3						-54,4%					
2021	31,4	45,6	34.831	16,0	12,8	27,8	-56,9%	-42,3%	-18,2%	-41,9%	-16,3%	-22,3%

Tabelle 15 Vergleich von Mess- und Modelldaten für die Leipziger Str. (MS525)

In Tabelle 16 ist die zeitliche Entwicklung der im Mariendorfer Damm (MC124) gemessenen NO₂-Konzentration mit ausgewählten Modelldaten gegenübergestellt. Zusätzlich ist jeweils die Veränderung der einzelnen Daten im Vergleich zu den Werten aus 2015 angegeben. Die Modellwerte für 2015 stammen aus den Modellberechnungen für den Luftreinhalteplan Berlin². Die Modellwerte für 2019 sind dem hier berechneten Szenario V19/F21 entnommen und deshalb in grau dargestellt und die Modellwerte für 2021 dem Szenario V21/F21.

Analog zum zeitlichen Verlauf in der Leipziger Straße geht die NO₂-Belastung über die Zeit deutlich zurück. Der Rückgang ist aber sowohl im Vergleich 2019 zu 2015 mit 20,8 % und im Vergleich 2021 zu 2015 mit 31,2 % deutlich geringer als in der Leipziger Straße. Mit der Modellierung wird hier ein stärkerer Rückgang prognostiziert, als er gemessen wird. Der modellierte Rückgang der NO₂-Belastung in Höhe von 42,6 % ergibt sich vor

¹⁹ Die Senatsverwaltung hat dazu auf Folgendes hingewiesen: „Bei der Kennzeichenerhebung wurde auch in der Leipziger Straße gemessen. Die hier für die Modellierung verwendeten Berliner Durchschnittsflotte weist etwa 10 % höhere NO_x-Emissionen auf, als die die Flotte "Leipziger Straße". (Bei den Linienbussen sind die NO_x-Emissionen etwa 2 x höher). auch dies trägt zur Überschätzung bei. In der Frankfurter Allee stimmen dagegen die Emissionen der Durchschnittsflotte und der lokalen Flotte recht gut überein.“

allem durch den starken Rückgang der NO_x-Emissionen, was sich neben der Flottenerneuerung auch aus dem Rückgang der Verkehrsstärke und der verbesserten Verkehrsqualität ergibt.

Jahr	Mes- sung NO ₂ (µg/m ³)	Modell NO ₂ (µg/m ³)	DTV (Kfz/Tag)	EM. NO _x (g/m ³ *d)	Anteil LOS4+5 (%)	Vorbel. NO _x (µg/m ³)	Änderung zu 2015					
							Mes- sung NO ₂	Modell NO ₂	DTV	EM. NO _x	Anteil LOS4+5	Vorbel. NO _x
2015	49,0	48,7	40.500	24,3	14,1	24,9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2019	38,8	30,2	40.400	14,2	10,8	19,9	-20,8%	-37,9%	-0,2%	-41,6%	-23,4%	-20,3%
2020	34,4						-29,8%					
2021	33,7	27,9	35.196	11,9	6,2	19,9	-31,2%	-42,6%	-13,1%	-51,0%	-56,0%	-20,3%

Tabelle 16 Vergleich von Mess- und Modelldaten für den Mariendorfer Damm (MC124)

Analog zu den vorangegangenen Darstellungen ist in Tabelle 17 die zeitliche Entwicklung der in der Frankfurter Allee (MC174) gemessenen NO₂-Konzentration mit ausgewählten Modelldaten gegenübergestellt. Hier passen die Entwicklungen besser zusammen, wobei der NO₂-Rückgang im Modell von 2015 nach 2021 mit 37,7 % leicht höher ist als bei den Messungen mit 32,4 %.

Die Gegenüberstellungen der zeitlichen Entwicklungen der Mess- und Modellwerte für NO₂ für diese drei ausgewählten Hotspots zeigt, dass eine Analyse der Abweichungen zwischen Modellwerten und Messwerten sehr komplex ist, dass aber das Verhalten der Ergebnisse aus der Modellierung in sich erklärbar ist und die hier genutzten Veränderungen der Eingangsdaten für die Modellierung die zeitliche Entwicklung der Messungen nicht vollständig erklären kann.

Jahr	Mes- sung NO ₂ (µg/m ³)	Modell NO ₂ (µg/m ³)	DTV (Kfz/Tag)	EM. NOX (g/m ³ *d)	Anteil LOS4+5 (%)	Vorbel. NO _x (µg/m ³)	Änderung zu 2015					
							Messung NO ₂	Modell NO ₂	DTV	EM. NOX	Anteil LOS4+5	Vorbel. NO _x
2015	41,0	39,7	46.890	21,5	7,3	29,9	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2019	35,0	25,4	39.780	12,8	4,2	23,4	-14,6%	-36,0%	-15,2%	-40,7%	-42,5%	-21,7%
2020	28,4						-30,7%					
2021	27,7	24,7	34.351	11,7	9,0	23,4	-32,4%	-37,7%	-26,7%	-45,6%	23,3%	-21,7%

Tabelle 17 Vergleich von Mess- und Modelldaten für die Frankfurter Allee (MC174)

5 Zusammenfassung

Im Auftrag des Landes Berlin sollten für das Berliner Hauptverkehrsstraßennetz Luftschadstoffkonzentrationen (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}) berechnet werden. Mit dieser Untersuchung liegt der Senatsverwaltung eine aktualisierte Datenbasis zur weiteren Analyse der Luftqualität vor.

Neben der Aktualisierung der Datengrundlagen für die Luftschadstoffberechnung sollten auch die möglichen Einflüsse der Corona-Pandemie auf das Verkehrsgeschehen exemplarisch anhand von Verkehrsdaten der Jahre 2019 und 2021 und der sich damit ändernden modellierten Luftschadstoffbelastung an ausgewählten Straßenabschnitten abgebildet werden.

Für die Untersuchung wurden die verkehrlichen Grundlagen (Kfz-Verkehrsmengen und Verkehrsqualitäten) für das Jahr 2019 und für ausgewählte Teilbereiche für das Jahr 2021 aufbereitet. Die Verkehrsmengen und die Verkehrsqualitäten der Jahre 2019 und 2021 wurden in Form eines statistischen Vergleichs gegenübergestellt.

Hinsichtlich des Verkehrsmengenvergleichs der Betrachtungsjahre zeigte sich an den untersuchten Messstellen bzw. Abschnitten eine teils deutliche Veränderung der Höhe der Kfz-Verkehrsmengen sowie deren jahreszeitlicher Verteilung: So wird in 2021 eine Veränderung in den Mustern der täglichen Verkehrsstärke sichtbar: Während in Vor-Corona Jahren vier typische Tagescluster (Mo-Do, Fr, Sa + Brückentage, So + Feiertage) den Tagen des Jahres zugeordnet werden können, verhalten sich Werktagen der ersten Jahreshälfte 2021 (Mo-Do) hinsichtlich der Verkehrsstärke wie Samstage der zweiten Jahreshälfte.

Die Corona-bedingten Veränderungen des Verkehrsgeschehens zeigt sich auch in Verringerungen der Verkehrsmengen (relative Abweichung) an den betrachteten Verkehrsmessstellen (TEU) im Jahr 2021 gegenüber dem Vergleichsjahr 2019. Hier wurden bis zu einem Drittel geringere Kfz-Verkehrsstärken gegenüber dem Zeitraum vor der Corona-Pandemie gemessen.

Hinsichtlich der Verkehrsqualität zeigt sich bezogen auf das Gesamtjahr eine Verbesserung anhand einer Verringerung der Stauanteile (Verbesserung der Level-of-Service, LOS) 2021 gegenüber 2019. Diese Verbesserung kann z. T. auf die verringerten Kfz-Verkehrsmengen aufgrund der Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie zurückzuführen sein. Dies wird auch dadurch gestützt, dass in den Sommerferienzeiträumen der Jahre 2019 und 2021, welche prinzipiell weniger Berufs- und Ausbildungsverkehre aufweisen, keine wesentlichen Unterschiede der Verkehrsqualität zu erkennen sind.

Darüber hinaus zeigt eine Detailuntersuchung einzelner Straßenabschnitte, dass kleinräumige Ereignisse und Maßnahmen, wie z. B. Baumaßnahmen im Straßenraum, LSA-Anpassungen und Sperrungen des Kfz-Verkehrs im Umfeld, ebenfalls einen starken Einfluss auf die Verkehrsqualität haben: An einigen Abschnitten tritt 2021 trotz verringerter Verkehrsstärke eine Verschlechterung der Verkehrsqualität und einer Erhöhung der

Stauanteile gegenüber 2019 auf. Inwieweit diese Einflüsse die übergeordnete Veränderung durch die verringerten Verkehrsmengen während der Corona-Pandemie beeinflussten, konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht detailliert betrachtet werden.

Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf anhand ein statistisch gestützten Vergleichs von Abschnitten mit Beeinflussung durch Ereignisse vor Ort und Abschnitten ohne diese Beeinflussung.

Darüber hinaus war das Jahr 2021 weiterhin von den Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie geprägt, was sich in weiterhin bestehenden Volatilitäten der Verkehrsstärken zeigt. Somit ist das (Einzel-)Jahr 2021 für die zukünftige Verkehrsentwicklung nicht als guter Indikator zu sehen und sollte die Untersuchung durch eine Betrachtung des Jahres 2022 ergänzt werden.

Gleichwohl sollten zur weiteren Stützung der Ergebnisse diese Untersuchungen kontinuierlich vorgenommen werden: Durch die Darstellung von zeitlichen Verläufen der Jahre 2010 bis z. B. 2023 (nach Vorliegen der erforderlichen verkehrlichen Datenrundlagen) könnten konkretere Kausal-Aussagen zum Verlauf der Verkehrsmengen- und Verkehrsqualitätsentwicklung getroffen werden.

Aufbauend auf die verkehrlichen Grundlagendaten aus 2019 wurde mit dem Screeningmodell IMMIS^{luft} für bebaute Abschnitte des Hauptstraßennetzes die Luftschadstoffbelastungen unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung, der Vorbelastung und der Meteorologie aus dem Bezugsjahr 2021 (Szenario V19/F21) berechnet.

Im Ergebnis der Screeningberechnungen für das Szenario V19/F21 werden für neun Abschnitte Überschreitungen des gültigen NO₂-Grenzwertes prognostiziert. Unter einer konservativen Berücksichtigung einer Fehlermarge von 10 % auf das Modellergebnis sind 17 Abschnitte und bei einer Fehlermarge von 20 % 107 Abschnitte potenziell von einer NO₂-Grenzwertverletzung betroffen.

Der PM₁₀-Jahresgrenzwert in Höhe von 40 µg/m³ wird in allen Screeningberechnungen nicht überschritten. Der zum Tagesgrenzwert korrespondierende PM₁₀-Jahresmittelwert in Höhe von 30 µg/m³ wird an neun Abschnitten überschritten. Unter Berücksichtigung von Fehlermargen von 5 % und 10 % sind 42 bzw. 162 Abschnitte potenziell von Grenzwertüberschreitungen betroffen.

Der seit 2015 geltende PM_{2,5}-Grenzwert wird in der Berechnung an einem Abschnitt in der Nobelstraße bereits in der Vorbelastung überschritten. Unter Berücksichtigung einer Fehlermarge von 5 % bzw. 10 % ist dies aber bei keinem weiteren Abschnitt der Fall.

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
BlmSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
DTV	Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (Mo-So)
DTVw	Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke an Werktagen (Mo-Fr)
FCD	Floating Car Data
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
IMMIS	Screeningmodell der IVU Umwelt GmbH Freiburg
Kfz	Kraftfahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
LOS	Level of Service
LRP	Luftreinhalteplan
MC	Messcontainer
MS	Messstelle
NO ₂	Stickstoffdioxid
PM _{2.5}	Ultra-Feinstaub (Particular Matter < 2,5 µg)
PM ₁₀	Feinstaub (Particular Matter < 10 µg)
TEU	Traffic Eye Universal (Verkehrsmessstelle)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Umweltnetz Berlin 2022.....	5
Abbildung 2	Beispiel für abschnittsweise lineare Zuordnungsfunktionen (Fahrzeugkategorie PKW, HVS, 50 km/h).....	7
Abbildung 3	Auswahlnetz für den Vergleich 2019/2021	9
Abbildung 4	Tagestypenkalender auf Basis der Clusteranalyse der Verkehrsstärkedaten des Jahres 2019 (5 Cluster)	13
Abbildung 5	Tagestypenkalender auf Basis der Clusteranalyse der Verkehrsstärkedaten des Jahres 2021 (5 Cluster)	14
Abbildung 6	Streudiagramm Vergleich DTV 2019 / DTV 2021 aus 17 Verkehrsmessstellen	15
Abbildung 7	Gegenüberstellung des DTV 2019/2021 für ausgewählte Abschnitte (richtungsbezogen).....	17
Abbildung 8	Gegenüberstellung der abschnitts- und richtungsbezogene Fahrleistung mit LOS 4 und LOS 5 2019/2021 im Umfeldnetz	19
Abbildung 9	Gegenüberstellung der abschnitts- und richtungsbezogenen Fahrleistung mit LOS 4 und LOS 5, Sommerferien zu Nicht- Ferientage 2019 im Umfeldnetz	20
Abbildung 10	Gegenüberstellung der abschnitts- und richtungsbezogenen Fahrleistung im LOS 4 und LOS 5, Sommerferien zu Nicht- Ferientage 2021 im Umfeldnetz	21
Abbildung 11	Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (alle HBEFA-Verkehrszustände)	25
Abbildung 12	Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 1).....	26
Abbildung 13	Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 2).....	26
Abbildung 14	Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 3).....	27
Abbildung 15	Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 4).....	27
Abbildung 16	Fundamentaldiagramm für den Messquerschnitt Stromstraße (nur LOS 5).....	28
Abbildung 17	Schema einer vollständigen Modellierung.....	30

Abbildung 18	Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung (nach Lenschow et al. (2001))	34
Abbildung 19	Aufteilung der Flotte alle Pkw (links), sowie Diesel- (Mitte) und Benzin-Pkw (rechts) spezifisch für Berlin in 2021	35
Abbildung 20	Aufteilung der Flotte für leichte Nutzfahrzeuge (LLkw, links), schwere Nfz (SLkw, Mitte) und Linienbusse (rechts) für spezifisch für Berlin in 2021	36
Abbildung 21	Windrose und Windgeschwindigkeitshäufigkeiten für 2021 mit Windrichtung und Windgeschwindigkeit der Station Tempelhof und den Ausbreitungsklassen auf Basis meteorologischer Daten der Station Flughafen Schönefeld	36
Abbildung 22	Histogramme der Anzahl bzw. Längen von Screeningabschnitten in Konzentrationsklassen für NO ₂ das Szenario V19/F21	42
Abbildung 23	Histogramme der Anzahl bzw. Längen von Screeningabschnitten in Konzentrationsklassen für PM10 das Szenario V19/F21	42
Abbildung 24	Histogramme der Anzahl bzw. Längen von Screeningabschnitten in Konzentrationsklassen für PM2.5 das Szenario V19/F21	43
Abbildung 25	Vergleich Modellwerte mit Messung an Hotspots als Streudiagramm für NO ₂ -Jahresmittelwerte auf Basis der Verkehrsdaten 2019 (Szenario V19/F21,rot) und 2021 (Szenario V21/F21, blau) mit eingezeichneten Toleranzlinien (Datenqualitätsziele der 39. BImSchV)	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Fahrleistung 2019.....	6
Tabelle 2	Verkehrsmengen 2019/2021 für die Auswahlabschnitte	10
Tabelle 3	Vergleich DTV 2019 zu DTV 2021 der Kfz-Verkehrsstärke (auf 100 gerundet)	16
Tabelle 4	Verteilung der Fahrleistungsanteile (Kfz*km) auf die LOS-Klassen 2019/2021.....	18
Tabelle 5	LOS 4 und LOS 5 für die Auswahlabschnitte.....	23
Tabelle 6	Emissionsbilanz im Berliner Hauptstraßennetz für Flottenbezugsjahr 2021 und den Verkehrsdaten aus 2019 (Szenario V19/F21).....	37
Tabelle 7	Abschnitte mit einem modellierten NO ₂ -Jahresmittelwert > 36 µg/m ³ für das Szenario V19/F21	40
Tabelle 8	Abschnitte mit einem modellierten PM10-Jahresmittelwert > 28.5 µg/m ³ für das Szenario V19/F21	41
Tabelle 9	Ausgewählte IMMIS ^{luft} -Abschnitte für die Modellierung mit Verkehrsdaten 2021 im Szenario V21/F21 (Spalte Quelle: siehe Text).....	45
Tabelle 10	Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte NO ₂ und NO _x für Szenario V19/F21 und V21/F21 mit Angabe der Veränderung.....	46
Tabelle 11	Gegenüberstellung der Jahresmittelwerte PM10 und PM2.5 Szenario V19/F21 und V21/F21 mit Angabe der Veränderung.....	47
Tabelle 12	Gegenüberstellung der NO ₂ -Jahresmittelwerte von Modell (IMMIS ^{luft}) mit Messung an verkehrsnahen Messstationen für das Szenario V19/F21	49
Tabelle 13	Gegenüberstellung der modellierten NO ₂ -Jahresmittelwerte auf Basis der Verkehrsdaten 2019 Szenario V19/F21 und 2021 (Szenario V21/F21) mit Messwerten 2021 mit Angabe der relativen Abweichung zur Messung, sortiert nach aufsteigender Abweichung.	51
Tabelle 14	Gegenüberstellung der modellierten NO ₂ -Jahresmittelwerte auf Basis der Verkehrsdaten 2021 (Szenario V21/F21) mit Messwerten 2021 und der Messwerte für 2015 und der Modellwerte aus dem LRP Berlin mit Angabe der relativen Abweichung zur Messung, sortiert nach aufsteigender Abweichung für das Bezugsjahr 2021.....	53

Tabelle 15	Vergleich von Mess- und Modelldaten für die Leipziger Str. (MS525)	54
Tabelle 16	Vergleich von Mess- und Modelldaten für den Mariendorfer Damm (MC124)	55
Tabelle 17	Vergleich von Mess- und Modelldaten für die Frankfurter Allee (MC174)	56

Anhang

Kartenverzeichnis

- Karte 1 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – Gesamtjahr 2019 (Umweltnetz)
- Karte 2 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – Gesamtjahr 2021
- Karte 3 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – Gesamtjahr 2019
- Karte 4 Veränderung der Verkehrsstärken aus der Detektion 2021 gegenüber 2019
- Karte 5 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – 2019 ohne Ferientage
- Karte 6 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – 2019 Sommerferien
- Karte 7 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – 2021 ohne Ferientage
- Karte 8 Anteil der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 an der Kfz-Verkehrsstärke – 2021 Sommerferien
- Karte 9 Veränderung der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 2021 gegenüber 2019
- Karte 10 Veränderung der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 2021 gegenüber 2019 – ohne Ferientage
- Karte 11 Veränderung der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 2021 gegenüber 2019 - Sommerferien
- Karte 12 Veränderung der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 2019-Sommerferien gegenüber Nicht-Ferien
- Karte 13 Veränderung der HBEFA-Verkehrszustände Stop+Go & Stop+Go2 2021-Sommerferien gegenüber Nicht-Ferien
- Karte 14 NO₂-Jahresmittelwert im Hauptstraßennetz von Berlin für das Szenario V19/F21
- Karte 15 PM₁₀-Jahresmittelwert im Hauptstraßennetz von Berlin für das Szenario V19/F21

Karte 16 PM2.5-Jahresmittelwert im Hauptstraßennetz von Berlin für das Szenario V19/F2