



# Berechnung von Verkehrszuständen nach HBEFA 3.2 für das Land Berlin

## Kurzdokumentation

Berlin, 31.01.2017

erarbeitet für

**Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz**

**Abt. I**

Brückenstraße 6  
10179 Berlin

# Berechnung von Verkehrszuständen nach HBEFA 3.2 für das Land Berlin

## Kurzdokumentation

erarbeitet für:



**Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz  
Abt. I**

Brückenstraße 6  
10179 Berlin

erarbeitet durch:



**VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH**

Tempelhofer Damm 1-7  
12101 Berlin

in Zusammenarbeit mit:



**IVU Umwelt GmbH**

Umweltplanung – Umweltinformationssysteme

Emmy-Noether-Str. 2  
79110 Freiburg

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung und Vorgehensweise</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufbereitung der Datengrundlagen (AP 100)</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands für den IST-Fall 2015 aus FCD für das Verkehrslagenetz (AP 200)</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Berechnung der Emissionen und Immissionen an fünf Abschnitten</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Kalibrierung der HBEFA-Netzkapazitäten am IST-Zustand für das Verkehrslagenetz</b>	<b>14</b>
5.1	Methode der Kalibrierung.....	14
5.2	Resultierende HBEFA-Netzkapazitäten .....	16
5.3	Verwendetes Kapazitätsmodell .....	18
<b>6</b>	<b>Übertragung der HBEFA-Netzkapazitäten auf das übrige Hauptverkehrsstraßennetz</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Ableitung des Verkehrszustands für den IST-Fall mittels Kapazitätsmodell für das gesamte Hauptverkehrsstraßennetz</b>	<b>27</b>
	<b>Anhang 1: Detailbericht zur Berechnung der Emissionen und Immissionen an fünf Abschnitten</b>	<b>29</b>
	Berechnung der Emissionen und Immissionen sowie Diskussion der Ergebnisse an fünf Abschnitten .....	29
	Methodik .....	30
	<i>Betrachtete Abschnitte</i> .....	30
	<i>Modellierung mit IMMIS<sup>luft</sup></i> .....	31
	<i>Modellierung mit IMMIS<sup>cpb</sup></i> .....	35
	Ergebnisse.....	36
	<i>Modellierung mit IMMIS<sup>luft</sup></i> .....	36
	<i>Modellierung mit IMMIS<sup>cpb</sup></i> .....	38
	<b>Anhang 2: Kartenband</b>	<b>48</b>

## Abbildungen

Abbildung 1: Detailnetz mit DTV 2014 und Kennzeichnung des Verkehrslagenetzes.....	3
Abbildung 2: Verkehrssituationsmatrix HBEFA Version 3.2.....	4
Abbildung 3: Zuordnungsfunktion (Prinzipdarstellung).....	6
Abbildung 4: Lagekarte Leipziger Straße.....	7
Abbildung 5: Jahresverteilung des Verkehrszustands Stop+Go im betrachteten Abschnitt.....	8
Abbildung 6: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Montag–Donnerstag, Leipziger Straße zwischen Friedrich- und Charlottenstraße, Fahrtrichtung Ost .....	9
Abbildung 7: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Montag–Donnerstag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, Fahrtrichtung West .....	9
Abbildung 8: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Montag–Donnerstag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrtrichtungen (Querschnitt) .....	10
Abbildung 9: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Freitag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrtrichtungen (Querschnitt) .....	10
Abbildung 10: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Samstag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrtrichtungen (Querschnitt) .....	11
Abbildung 11: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Sonn- und Feiertag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrtrichtungen (Querschnitt) .....	11
Abbildung 12: Relativen Abweichungen der der mit IMMIS <sup>luft</sup> berechneten NO <sub>x</sub> - bzw. NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerten mit den an den fünf Straßenabschnitten in 2014 gemessenen Werten.....	12

Abbildung 13: Vorgehensweise zur Kalibrierung der HBEFA- Netzkapazitäten .....	14
Abbildung 14: Kalibrierte Netzkapazitäten auf dem VIZ- Verkehrslagenetz (Auszug aus Karte 12 im Anhang) .....	16
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der kalibrierten HBEFA- Netzkapazitäten pro Fahrstreifen auf den Hauptverkehrsstraßen (B: Bundesstraßen, V: übrige Hauptverkehrsstraßen) .....	17
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der kalibrierten HBEFA- Netzkapazitäten pro Fahrstreifen, unterteilt nach Autobahnen und übrigen Hauptverkehrsstraßen .....	18
Abbildung 17: Zuordnung der Tage des Jahres 2015 zu den Tagestypen (Form der Tagesganglinien).....	19
Abbildung 18: Beispiel für die Verteilung der Tagesverkehrsstärken (hier: TE014 Mariendorfer Damm stadteinwärts) .....	20
Abbildung 19: Vergleich der Stop+Go-Anteile aus FCD und Kapazitätsmodell (mit vs. ohne Jahresgang) .....	21
Abbildung 20: Verteilung der HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen auf Hauptverkehrsstraßen unmittelbar vor Knotenpunkten mit LSA im Vergleich zu den übrigen Abschnitten .....	23
Abbildung 21: Abhängigkeit der HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen von der Abschnittslänge.....	24
Abbildung 22: Beispiel für unterschiedliche Digitalisierung von Knotenpunkten (hier: Falkenseer Platz, grün: Umweltnetz, grau: VISUM-Netz) .....	26
Abbildung 23: Beispiel für im VISUM-Netz nicht abgedeckten Straßenabschnitt (hier: Jesse-Owens-Allee – grün, nicht grau hinterlegt) .....	26
Abbildung 24: Vergleich der Verkehrsleistungsanteile (DTV) der vier Verkehrszustände nach HBEFA vom LRP 2011 (Prognose 2015) mit diesem Projekt .....	27
Abbildung 25: Aufteilung der Verkehrsleistungsanteile des am DTV auf die StEP-Kategorien (IST-Fall) .....	28
Abbildung 26: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Frankfurter Allee Richtung Ost .....	33

Abbildung 27: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Frankfurter Allee Richtung West .....	33
Abbildung 28: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Schildhornstraße Richtung Ost .....	34
Abbildung 29: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Schildhornstraße Richtung West .....	34
Abbildung 30: Darstellung der Querschnittsgeometrie, wie sie für die Berechnungen mit IMMIS <sup>cpb</sup> verwendet wurden .....	35
Abbildung 31: Relativen Abweichungen der der mit IMMIS <sup>luft</sup> berechneten NO <sub>x</sub> - bzw. NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerten mit den an den fünf Straßenabschnitten in 2014 gemessenen Werten .....	37
Abbildung 32: Streudiagramme des Vergleichs Modell gegen Messung für NO <sub>x</sub> (links) und NO <sub>2</sub> (rechts) am Hotspot Frankfurter Allee .....	40
Abbildung 33: Streudiagramme des Vergleichs Modell gegen Messung für NO <sub>x</sub> (links) und NO <sub>2</sub> (rechts) am Hotspot Schildhornstraße .....	41
Abbildung 34: Mittlere Ganglinien der Modell- und Messwerte für NO <sub>x</sub> (oben) und NO <sub>2</sub> (unten) in der Frankfurter Allee .....	42
Abbildung 35: Mittlere Ganglinien der Modell- und Messwerte für NO <sub>x</sub> (oben) und NO <sub>2</sub> (unten) in der Schildhornstraße .....	43
Abbildung 36: Streudiagramme des Vergleichs Modell gegen Messung für NO <sub>2</sub> am Hotspot Frankfurter Allee (oben) und Schildhornstraße (unten) für das Sommerhalbjahr (links) und das Winterhalbjahr (rechts) .....	44
Abbildung 37: Mittlere Ganglinien der Modell- und Messwerte für NO <sub>2</sub> in der Frankfurter Allee im Sommerhalbjahr (oben) und im Winterhalbjahr (unten) .....	45
Abbildung 38: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub> in µg/m <sup>3</sup> in der Schildhornstraße .....	46
Abbildung 39: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub> in µg/m <sup>3</sup> in der Leipziger Straße .....	46
Abbildung 40: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub> in µg/m <sup>3</sup> in der Potsdamer Straße .....	46

Abbildung 41: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub> in µg/m <sup>3</sup> in der Hauptstraße .....	47
Abbildung 42: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub> in µg/m <sup>3</sup> in der Frankfurter Allee .....	47

## Tabellen

Tabelle 1: Gültigkeitszeiträume von Tempo 30.....	4
Tabelle 2: Mehrstufiger Ansatz zur Übertragung der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten auf Abschnitte außerhalb des VIZ-Verkehrslagenetzes .....	25
Tabelle 3: Luftschadstoffmessdaten 2014 an den fünf ausgewählten Hotspots und an der Hintergrundstation MC 10 .....	30
Tabelle 4: Eingangsdaten der fünf IMMIS <sup>luft</sup> -Abschnitte, die im Rahmen der Berechnungen mit IMMIS <sup>luft</sup> variiert wurden .....	32
Tabelle 5: Vergleich der Modellergebnisse für die Varianten mit den Messwerten für den NO <sub>x</sub> -Jahresmittelwert .....	36
Tabelle 6: Vergleich der Modellergebnisse für die Varianten mit den Messwerten für den NO <sub>2</sub> –Jahresmittelwert.....	36
Tabelle 7: Mess- und Modellwerte für den NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert 2014 .....	39
Tabelle 8: Mess- und Modellwerte für den NO <sub>x</sub> -Jahresmittelwert 2014 .....	39

# 1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Im Rahmen der Luftreinhalteplanung sollen für das Hauptverkehrsstraßennetz der Bundeshauptstadt Berlin die Verkehrszustände nach dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA), Version 3.2, berechnet werden. Dies bezieht sich auf die IST-Situation (Bezugsjahr 2015).

Die Berechnung erfolgt auf Basis von Verkehrsdaten, die beim Auftragnehmer zur Verfügung stehen. Dies umfasst die Verkehrsstärken im IST-Zustand für das komplette Hauptverkehrsstraßennetz als auch gemessene Reisezeiten aus Floating Car Data (FCD) für den IST-Zustand für das Verkehrsstraßennetz der VIZ.

Auch das digitale Straßennetz, auf dem die Berechnung erfolgen soll, steht bereits beim AN zur Verfügung. Alle Verkehrsdaten beziehen sich auf dieses Netz, sodass vom Auftragnehmer keine Netztransformationen vorgenommen werden müssen.

Die Berechnung soll auf Basis von Tagestypen (Montag–Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonn-/Feiertag) stundenfein erfolgen.

Als Grundansatz für die Ableitung des Verkehrszustands wird ein Kapazitätsmodell verwendet. Die abschnitts- und richtungsfeinen Kapazitäten für diese Berechnung werden durch Kalibrierung anhand der FCD ermittelt. Anschließend erfolgt eine Übertragung auf das übrige Netz, für das keine FCD vorliegen. Diese Kapazitäten können sowohl für den IST-Zustand als auch für einen Prognosehorizont verwendet werden. Diese rechnerisch ermittelten Kapazitäten sind nur für die Ableitung des Verkehrszustands nach HBEFA gültig und sind nicht für andersartige Berechnungen (z. B. Leistungsfähigkeiten oder Umlegungsrechnungen) zu verwenden.

Die für den Kapazitätsansatz erforderlichen Kfz-Verkehrsstärken liegen in Form der Straßenverkehrszählung 2014 (DTV<sub>w</sub>) von der VLB vor. Die Umrechnungsfaktoren auf DTV wurden bereits für Berlin im Auftrag der Abt. VII bestimmt. Die Wochen- und Tagesgänge der Kfz-Verkehrsstärken (mindestens auf Stundenbasis und differenziert nach Tagestypen Montag–Donnerstag, Freitag, Samstag, Sonn-/Feiertag) werden auf Grundlage der verfügbaren Messdaten berechnet.

Das Projekt unterteilt sich in zwei Stufen. In der Stufe 1 wird zunächst aus den FCD-Daten für entsprechende Netzabschnitte der Verkehrszustand ermittelt und an fünf Abschnitten (Frankfurter Allee, Schildhornstraße, Leipziger Straße, Potsdamer Straße und Hauptstraße) untersucht, wie sich die Methodik auf die modellierten Kfz-Emissionen und Immissionsbelastungen auswirkt. Die Ableitung des Verkehrszustands erfolgt aber bereits



für das Verkehrslagenetz, um doppelte Arbeiten zu vermeiden. Der Stufe 1 dienen die Arbeitspakete 100 – 300:

- AP 100: Aufbereitung der Datengrundlagen
- AP 200: Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands für den IST-Fall 2015 aus FCD für das Verkehrslagenetz
- AP 300: Berechnung der Emissionen und Immissionen an fünf Abschnitten und Diskussion der Ergebnisse

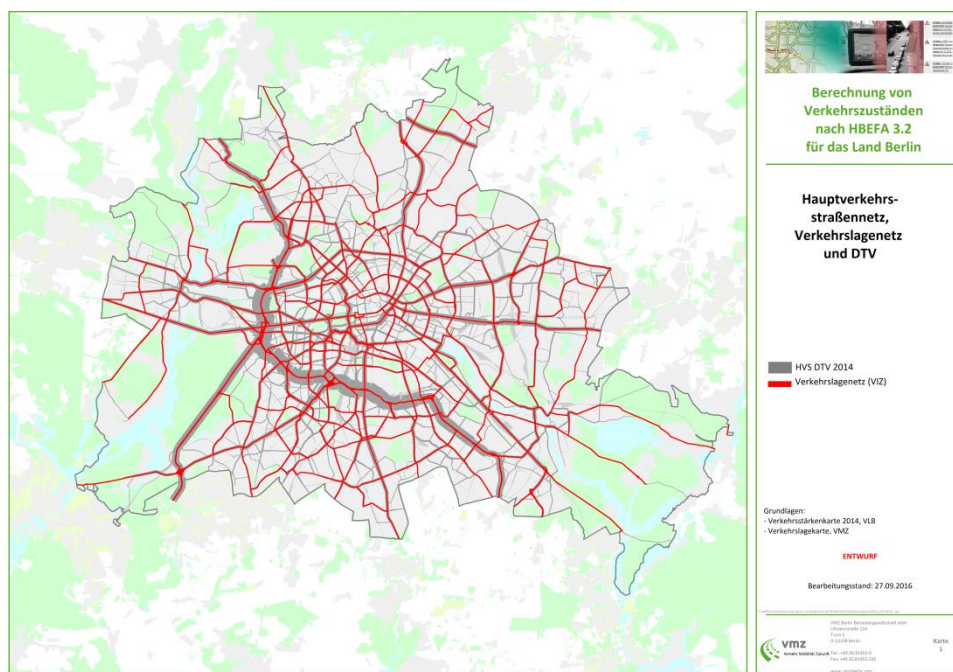
AP 100 und 200 sind auch für die Berechnungen der IST-Analyse im Luftreinhalteplan erforderlich und stellen somit keine Doppelarbeit dar.

Nach erfolgreichem Abschluss der Stufe 1 schafft dann die zweite Stufe die Voraussetzungen zur Berechnung des Verkehrszustands außerhalb des Verkehrslagenetzes sowie für Prognosefälle, indem HBEFA-Netzkapazitäten ermittelt werden. Hierzu dienen die Arbeitspakete 400 – 700:

- AP 400: Kalibrierung der Netzkapazitäten am IST-Zustand für das Verkehrslagenetz
- AP 500: Übertragung der Netzkapazitäten auf das übrige Hauptverkehrsstraßennetz
- AP 600: Ableitung des Verkehrszustands für den IST-Fall mittels Kapazitätsmodell für das gesamte Hauptverkehrsstraßennetz
- AP 700: Dokumentation

## 2 Aufbereitung der Datengrundlagen (AP 100)

Als Netzgrundlage dient das Detailnetz Version 5 mit den zusätzlichen Teilungspunkten und ergänzenden Attributen für die Lärm- und Luftschadstoffberechnung (in einigen Dokumenten als „Umweltnetz“ bezeichnet). Die folgende Abbildung 1 zeigt das verwendete Netz einschließlich der aus dem Projekt „Aufbereitung der Verkehrsdaten für den Luftreinhalte- und Lärmaktionsplan“ übernommenen durchschnittlichen täglichen Kfz-Verkehrsstärken (DTV) in Form einer Balkendarstellung. Des Weiteren ist der Teil des Netzes gekennzeichnet, für den FCD vorliegen (Verkehrslagenetz der VIZ Berlin). Eine größere Form der Karte 1 ist im Anhang enthalten.



**Abbildung 1: Detailnetz mit DTV 2014 und Kennzeichnung des Verkehrslagenetzes**

Die Zuordnungen von Gebiets- und Straßentyp sowie der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für das HBEFA-Verkehrssituationsschema wurden aus den Vorgängerversionen des Detailnetzes übertragen und geprüft (siehe Karten 2 und 3 im Anhang).

Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten stimmen nicht auf allen Abschnitten mit der Versorgung für das HBEFA-Verkehrssituationsschema überein. Hintergrund sind fehlende Kombinationen von Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit im HBEFA Version 3.2, zum Beispiel Hauptverkehrsstraßen mit 30 km/h (siehe Abbildung 2).

Gebiet	Strassentyp	Verkehrszustand	Tempo-Limit [km/h]														
			30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130			
laendlich gepraegt	Autobahn	4 VZustaende															
	Semi-Autobahn	4 VZustaende															
	Fern-, Bundesstrasse	4 VZustaende															
	Hauptverkehrsstrasse	4 VZustaende															
	Hauptverkehrsstrasse, kurvig	4 VZustaende															
	Sammelstrasse	4 VZustaende															
	Sammelstrasse, kurvig	4 VZustaende															
	Erschliessungsstrasse	4 VZustaende															
Agglo- meration	Autobahn	4 VZustaende															
	Stadt-Autobahn	4 VZustaende															
	Fern-, Bundesstrasse	4 VZustaende															
	Stadt. Ma.jistrale / Ringstr.	4 VZustaende															
	Hauptverkehrsstrasse	4 VZustaende															
	Sammelstrasse	4 VZustaende															
Erschliessungsstrasse	4 VZustaende																

Zugeordneter Plottenmix-Typ:  
■ = Autobahn  
■ = Land  
■ = Agglo.

Abbildung 2: Verkehrssituationsmatrix HBEFA Version 3.2

Für die fehlenden Kombinationen wurde wie folgt vorgegangen: Für die Ableitung des Verkehrszustands wurden Straßentypen ersatzweise gewählt, bei denen die korrekte zulässige Höchstgeschwindigkeit im Verkehrssituationsschema verfügbar ist. Zumeist ist dies der Straßentyp „Erschließungsstraße“. Diese Zuordnung erfolgt zeitlich differenziert nach Tagestyp und Stunde, um nächtliche Geschwindigkeitsbeschränkungen (z. B. 30 km/h von 22 bis 6 Uhr) oder Geschwindigkeitsbeschränkungen im Rahmen der Schulwegsicherung abbilden zu können. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die in Berlin vorkommenden Geltungsbereiche von Tempo 30.

gültig ab	gültig bis	Wochentag
0 Uhr	24 Uhr	Montag – Sonntag
6 Uhr	17, 18, 19 Uhr	Montag – Freitag
7 Uhr	14, 15, 16, 17, 18, 19 Uhr	Montag – Freitag
7:30 Uhr	16:30 Uhr	Montag – Freitag
8 Uhr	20 Uhr	Montag – Freitag
22 Uhr	6 Uhr	Montag – Sonntag

Tabelle 1: Gültigkeitszeiträume von Tempo 30

Für die Berechnung der Luftschadstoffemissionen werden hingegen die ursprünglichen Straßentypen und die entsprechend höheren zulässigen Höchstgeschwindigkeiten beibehalten, da die Zyklen einer Erschließungsstraße im Gegensatz zu denen der Hauptverkehrsstraßen von einer Rechtsvor-Links-Vorfahrtregel mit entsprechend häufigeren Anfahrvorgängen ausgeht. Somit existieren für die betroffenen Abschnitte (siehe Karte 4 im Anhang) zwei verschiedene HBEFA-Versorgungen: eine für die Bestimmung

des Verkehrszustands und eine für die Berechnung der Luftschadstoffemissionen.

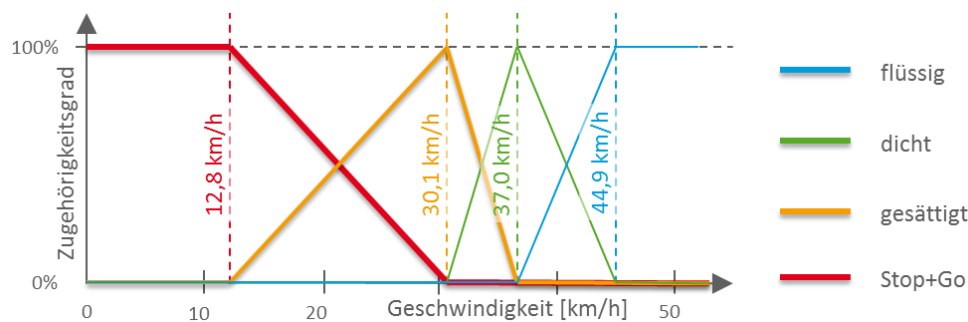
Für das Hauptverkehrsstraßennetz wurden für die vier Tagestypen Montag–Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonn-/Feiertag auf stündlicher Basis die mittleren Kfz-Verkehrsstärken berechnet. Hierzu wurde das Verkehrsmodell der VMZ Berlin herangezogen, das in dieser zeitlichen Auflösung vorliegt, und auf die tagestyp- und stundenfein aggregierten Verkehrsmesswerte der Dauerzählstellen des Kalenderjahres 2015 kalibriert. Hieraus wurden die stündlichen Anteile am Tagesverkehr tagestypspezifisch in Form von Tagesganglinien abschnitts- und richtungsgetreunt berechnet. Unter Verwendung des vorliegenden  $DTV_W$  der Straßenverkehrszählung 2014 wurden hieraus die absoluten Werte der Kfz-Verkehrsstärke berechnet.

Für die Tagestypen Montag–Donnerstag und Freitag wurde ein Umrechnungsfaktor von 1,0 vom  $DTV_W$  verwendet, für die Samstage 0,8 und für die Sonn- und Feiertage 0,6. Dies entspricht insgesamt einem Umrechnungsfaktor zum DTV in Höhe von 0,903.

Des Weiteren wurden Zwischenergebnisse der Verkehrslageberechnung der VIZ Berlin für das Kalenderjahr 2015 so aufbereitet und mit den übrigen Daten zusammengeführt, dass sie zur Berechnung des Verkehrszustands herangezogen werden können.

### 3 Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands für den IST-Fall 2015 aus FCD für das Verkehrs-lagenetz (AP 200)

Die Ableitung des HBEFA-Verkehrszustands erfolgt auf Basis von Geschwindigkeitsinformationen aus Floating Car Data (FCD), die in der VIZ Berlin vorliegen. Hierbei werden die aktuellen Geschwindigkeitsinformationen, die minutlich auf dem VIZ-Verkehrslagenetz (siehe Abbildung 1) abschnitts- und richtungsgetrennt vorliegen, mit den kinematischen Parametern der im HBEFA hinterlegten Fahrzyklen (hier: mittlere Geschwindigkeit) verknüpft. Hierzu wurde eine abschnittsweise lineare Zuordnungsfunktion gebildet, in die die vier mittleren Geschwindigkeiten der Verkehrszustände unter Berücksichtigung von Gebietstyp, Straßentyp und zulässiger Höchstgeschwindigkeit einfließen. Das Prinzip ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3: Zuordnungsfunktion (Prinzipdarstellung)**

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

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

Für den Verkehrszustand „flüssig“ hat eine zusätzliche Zuordnungsregel Priorität: Der Auslastungsgrad darf 15 % nicht überschreiten, anderenfalls wird anstelle des Verkehrszustands „flüssig“ der Verkehrszustand „dicht“ ausgewiesen. Dies folgt der Aussage der HBEFA-Autoren, dass der Verkehrszustand „flüssig“ nur in den Nachtstunden auftreten kann und ent-



spricht der Zuordnung über das Fundamentaldiagramm bei Vorliegen einer lokalen Verkehrsmessstelle.

Unter Verwendung dieser Zuordnungsvorschrift(en) wurden in der Datenbank des AN die Minutenwerte des Verkehrszustands nach HBEFA abschnitts- und richtungsgetreunt für das Kalenderjahr 2015 berechnet. Diese wurden anschließend pro Abschnitt, Richtung, Tagestyp und Stunde in Form von Anteilen der Verkehrszustände flüssig, dicht, gesättigt und Stop+Go aggregiert. Am Beispiel der Leipziger Straße in Berlin-Mitte werden die Ergebnisse nachfolgend vorgestellt.

Die Abbildung 4 zeigt die Lages des Abschnitts der Leipziger Straße zwischen der Friedrich- und der Charlottenstraße mit der positiven Digitalisierungsrichtung. Auf der südlichen Straßenseite befindet sich eine RUBIS-Messstation (Passivsammler).

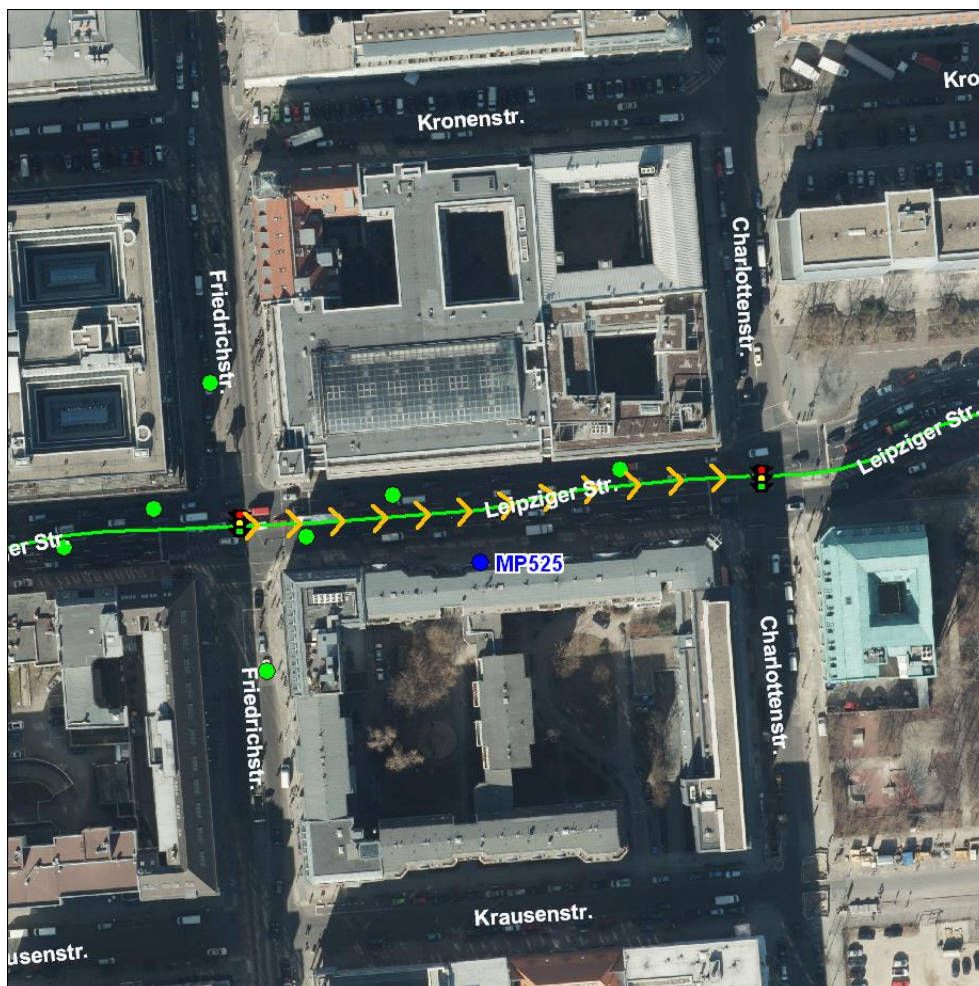
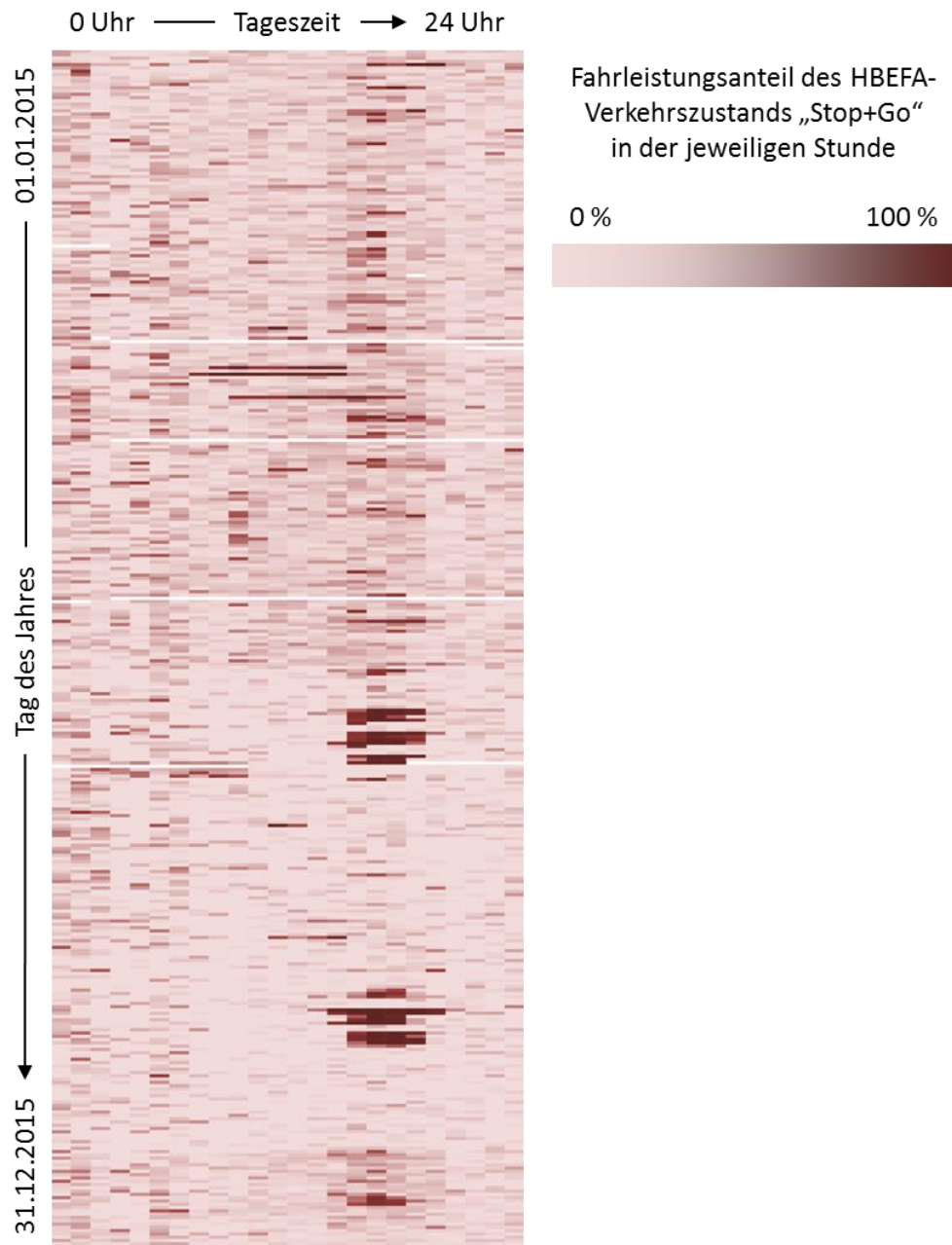


Abbildung 4: Lagekarte Leipziger Straße

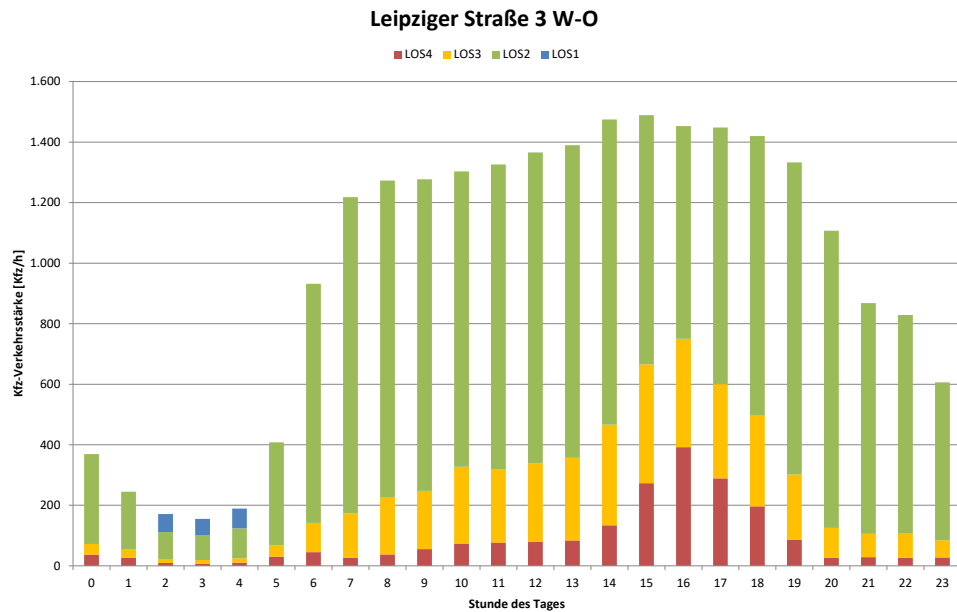
In der nachfolgenden Abbildung 5 ist die tages- und jahreszeitliche Verteilung des HBEFA-Verkehrszustands „Stop+Go“ für diesen Abschnitt in positi-

ver Digitalisierungsrichtung (Fahrtrichtung Ost) dargestellt. Die Darstellung zeigt einen nachmittäglichen Schwerpunkt dieses Verkehrszustands, was mit der Lastrichtung der Kfz-Verkehrsstärke übereinstimmt.



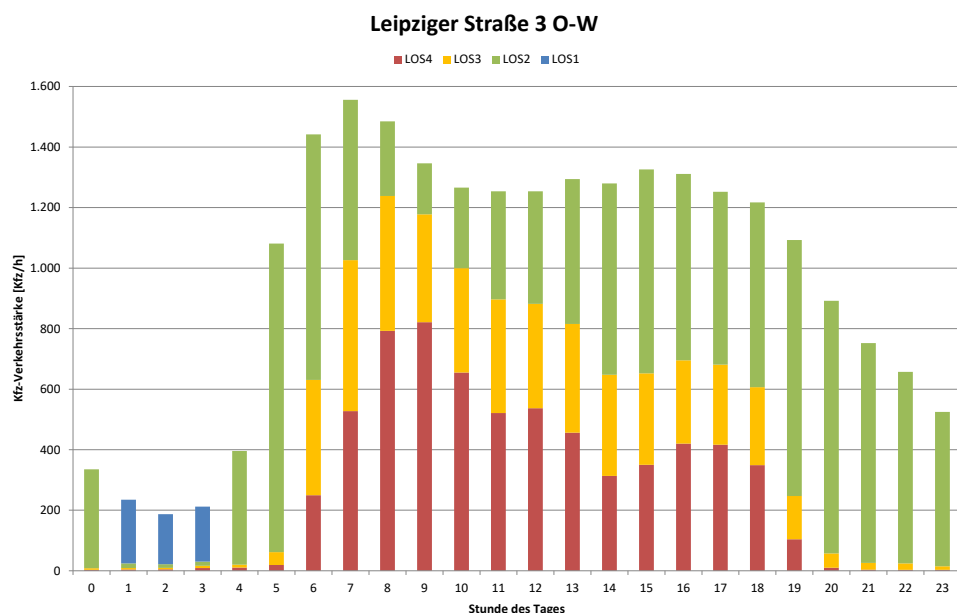
**Abbildung 5: Jahresverteilung des Verkehrszustands Stop+Go im betrachteten Abschnitt**

Hieraus ergibt sich unter Berücksichtigung der Tagesganglinie der Kfz-Verkehrsstärke der in Abbildung 6 dargestellte Verlauf der Verkehrszustandsanteile, hier am Beispiel des Tagestyps Montag–Donnerstag.



**Abbildung 6: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Montag–Donnerstag, Leipziger Straße zwischen Friedrich- und Charlottenstraße, Fahrtrichtung Ost**

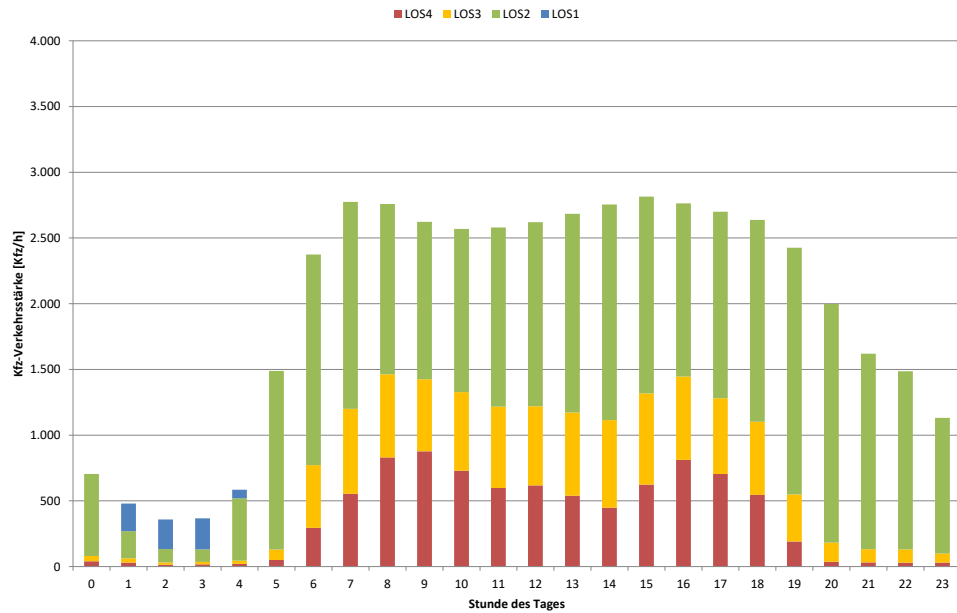
Für die Gegenrichtung (siehe Abbildung 7) zeigt sich ein anderes Bild, das u. a. mit der entgegengesetzten Lastrichtung, mit einer Bushaltestelle im rechten Fahrstreifen, anderen Abbiegesituationen am Folgeknoten oder auch mit einer anders ausgelegten Koordinierung der Lichtsignalanlagen zusammenhängen kann.



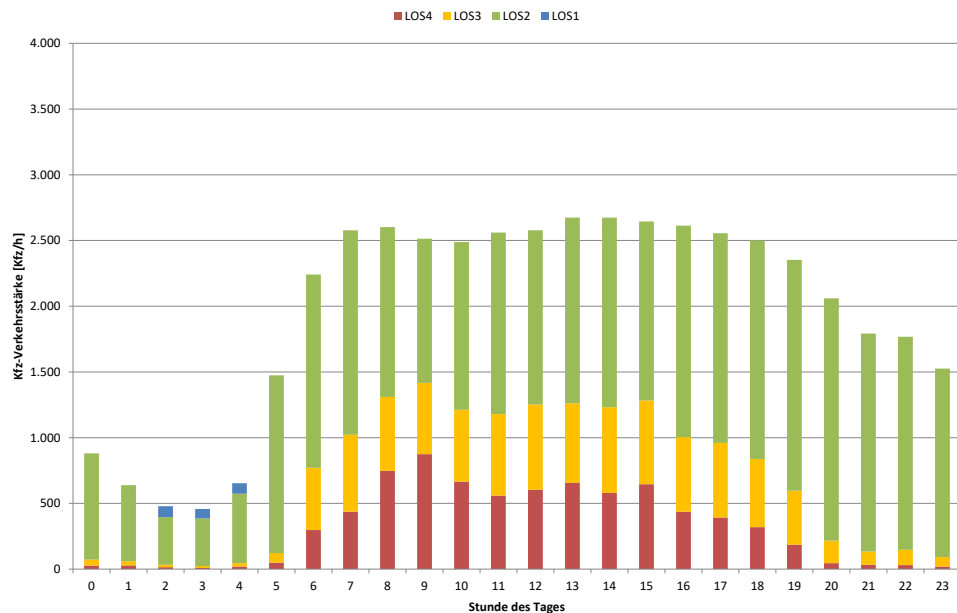
**Abbildung 7: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Montag–Donnerstag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, Fahrtrichtung West**



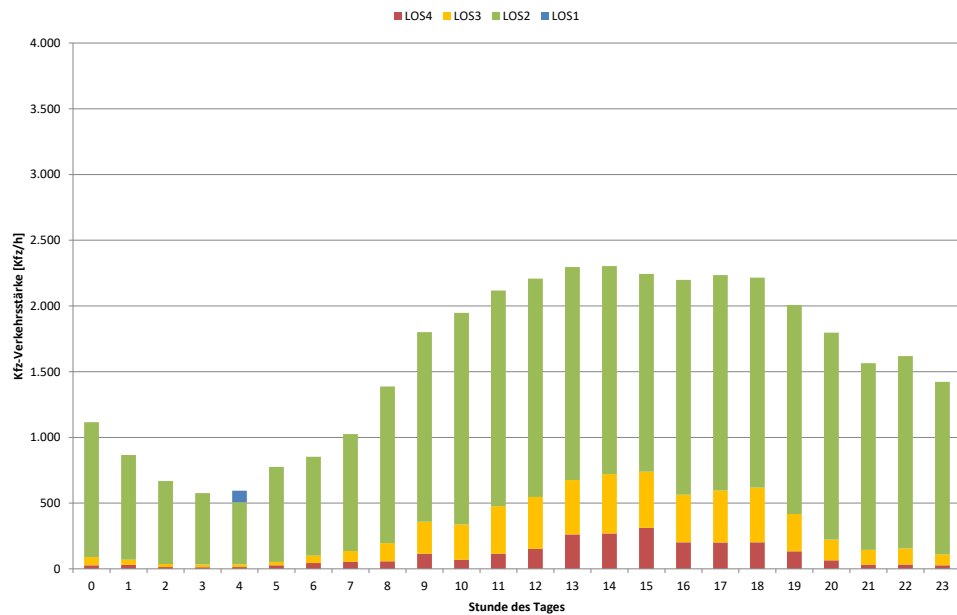
Für den Gesamtquerschnitt resultieren hieraus für die vier betrachteten Tagestypen die in Abbildung 8 bis Abbildung 11 dargestellten Tagesverläufe der Kfz-Verkehrsstärken und der Aufteilung auf die HBEFA-Verkehrszustände.



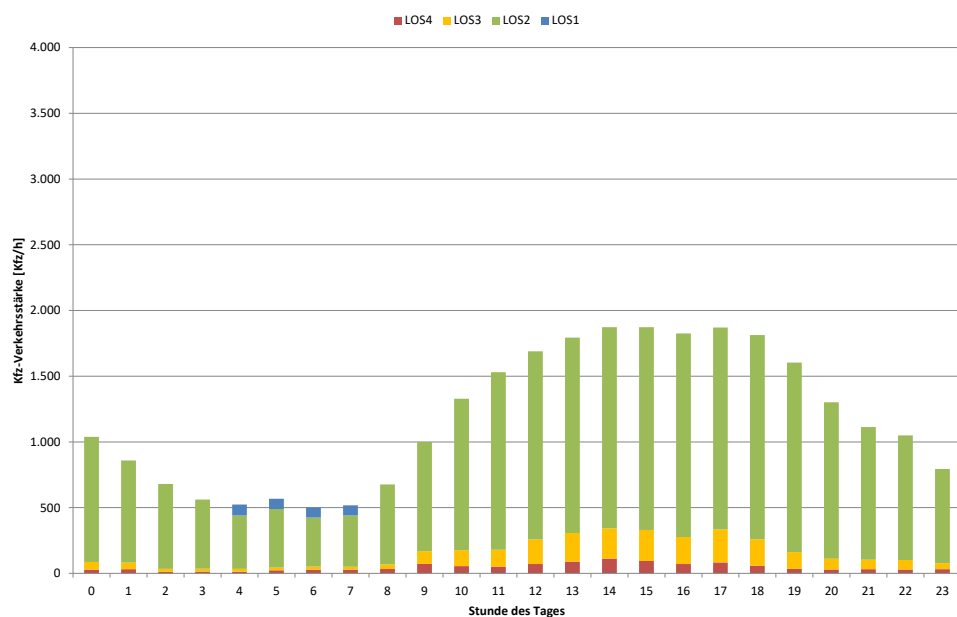
**Abbildung 8:** Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrsstandsanteile, Tagestyp Montag–Donnerstag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrrichtungen (Querschnitt)



**Abbildung 9:** Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrsstandsanteile, Tagestyp Freitag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrrichtungen (Querschnitt)



**Abbildung 10: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Samstag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrrichtungen (Querschnitt)**



**Abbildung 11: Aggregierter Tagesverlauf der Kfz-Verkehrsstärke und der Verkehrszustandsanteile, Tagestyp Sonn- und Feiertag, Leipziger Straße zwischen Charlotten- und Friedrichstraße, beide Fahrrichtungen (Querschnitt)**

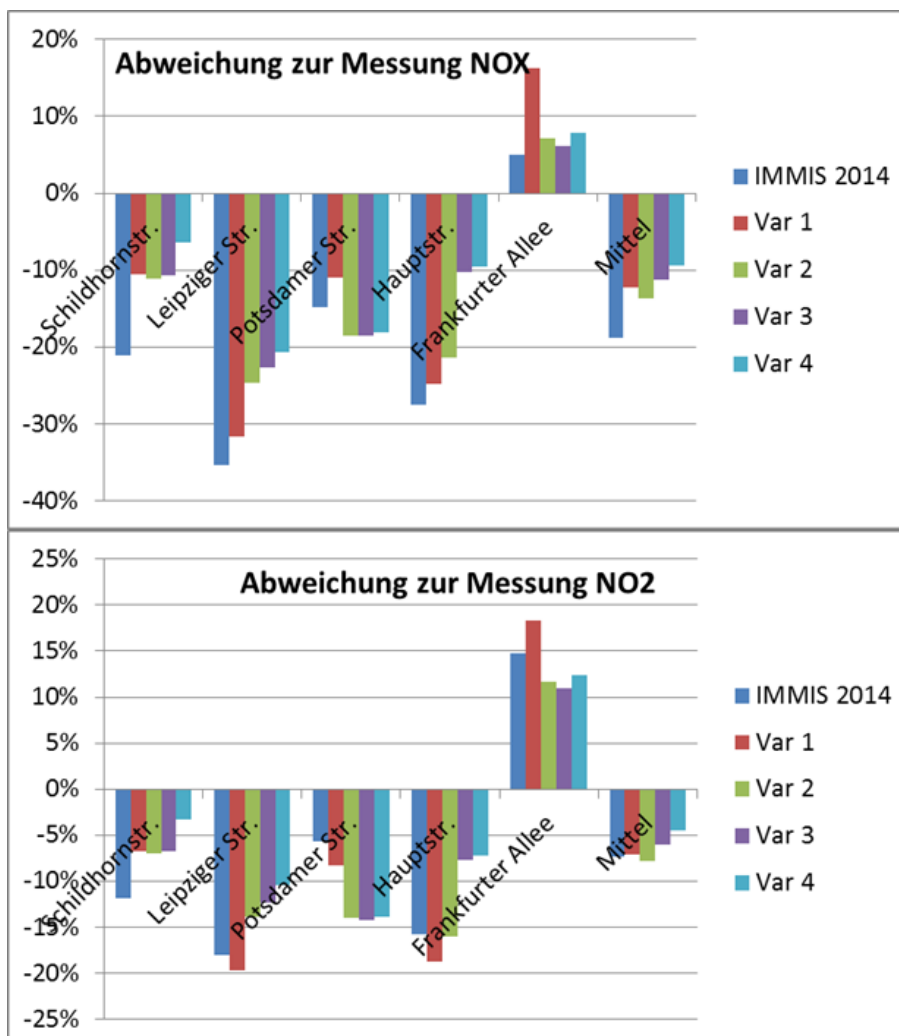
Der Anteil und der Verlauf des Verkehrszustands „Stop+Go / LOS4“ werden zur Kalibrierung der HBEFA-Netzkapazitäten in AP 400 herangezogen.

In den Karten 5-10 im Anhang sind die Verkehrszustandsanteile netzweit für das Gesamtjahr und für die Spitzenzeiten dargestellt.

## 4 Berechnung der Emissionen und Immissionen an fünf Abschnitten

Die Datengrundlage, die methodische Vorgehensweise und die detaillierten Ergebnisse der Emissions- und Immissionsberechnung für die vom Auftraggeber ausgewählten fünf Referenzabschnitte sind im Anhang 1 ausführlich dargestellt. Nachfolgend finden Sie die Zusammenfassung dieser Untersuchung:

Die LOS-Bestimmung auf Basis von FCD-Daten führt im Mittel zu einer deutlichen Verbesserung der Übereinstimmung von Modell- und Messwerten. Tendenziell wird aber weiterhin eine Unterschätzung der Messwerte durch das Modell festgestellt, wobei in der Frankfurter Allee auch eine Überschätzung vorliegt (siehe Abbildung 12).



**Abbildung 12:** Relativen Abweichungen der mit IMMIS<sup>luft</sup> berechneten NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten mit den an den fünf Straßenabschnitten in 2014 gemessenen Werten

Die Vergleiche von stündlichen Daten sind in dieser Untersuchung nur bedingt aussagekräftig, da Verkehrs- und Umweltdaten aus unterschiedlichen Bezugsjahren stammen. Trotzdem lässt sich neben der tendenziellen Unterschätzung durch das Modell vor allem ein Problem im Sommerhalbjahr feststellen. Die gemessenen  $\text{NO}_x$ -/ $\text{NO}_2$ -Belastungen liegen hier stärker über den modellierten Werten als im Winter. Neben der möglicherweise komplexeren Chemie im Sommer können hier auch Emissionsfaktoren des Kfz-Verkehrs einen Einfluss haben, der bisher modellseitig nicht abgebildet werden.

## 5 Kalibrierung der HBEFA-Netzkapazitäten am IST-Zustand für das Verkehrslagenetz

### 5.1 Methode der Kalibrierung

HBEFA-Netzkapazitäten dienen der Berechnung des Auslastungsgrads im Kapazitätsmodell. Sie stimmen nicht zwangsläufig mit verkehrstechnischen Kapazitätsdefinitionen überein, da auch die Definition der Verkehrszustände bzw. der Qualität des Verkehrsablaufs im HBEFA und in verkehrstechnischen Regelwerken (z. B. HBS 2015<sup>1</sup>) nicht deckungsgleich sind.

Die HBEFA-Netzkapazität ist eine rein rechnerische Größe. Die Kalibrierungsfrage lautet hierbei: Bei welcher Kfz-Verkehrsstärke würde im Kapazitätsmodell für den jeweiligen richtungsbezogenen Streckenabschnitt ein ähnlicher Störungsgrad bzw. LOS4-Anteil ermittelt wie bei der Ableitung des Verkehrszustands aus den FCD (siehe Kapitel 3)? Die HBEFA-Netzkapazität gibt damit grundsätzlich an, ab welcher Kfz-Verkehrsstärke mit einem überwiegenden Verkehrszustand „Stop+Go“ zu rechnen ist.

Die Vorgehensweise zur Kalibrierung der HBEFA-Netzkapazitäten ist in Abbildung 13 grafisch dargestellt.

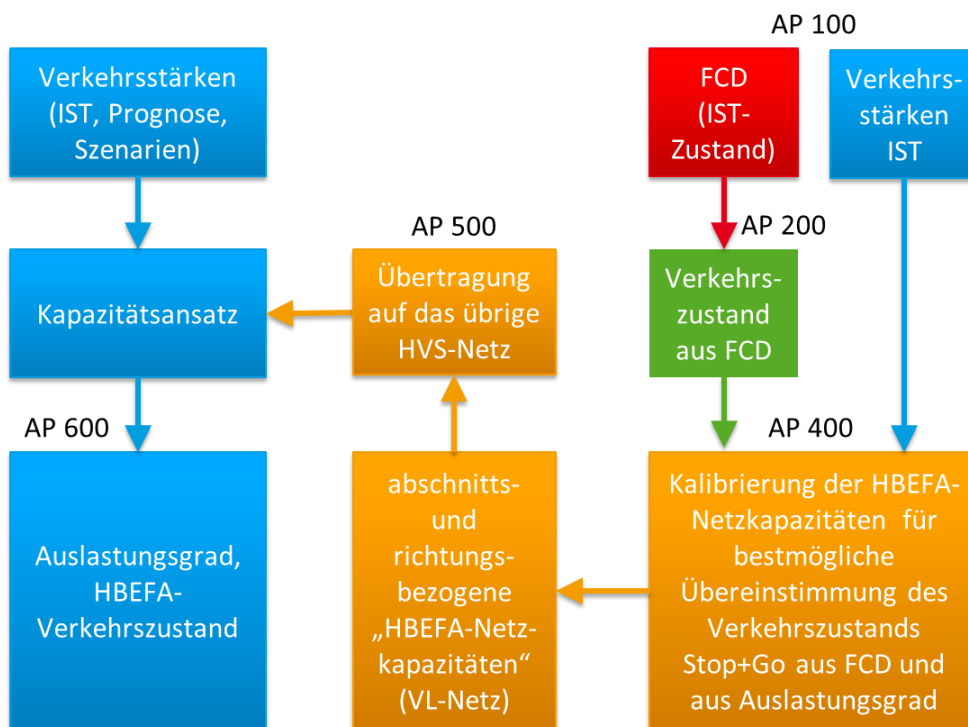


Abbildung 13: Vorgehensweise zur Kalibrierung der HBEFA-Netzkapazitäten

<sup>1</sup> Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Ausgabe 2015, FGSV Verlag, Köln 2015.

Hierzu werden je Streckenabschnitt iterativ stündliche Kapazitäten von 100 bis 10.000 Kfz/h simuliert und der hieraus resultierende Verkehrsstärke-Anteil im Verkehrszustand „Stop+Go“, bezogen auf den DTV, mit dem aus dem FCD berechneten Anteil verglichen. Diejenige Kapazität wird als HBEFA-Netzkapazität für den jeweiligen richtungsbezogenen Streckenabschnitt ausgewählt, die mindestens einen gleichhohen Stop+Go-Anteil bewirkt und dabei die kleinste Abweichung zu dem aus den FCD berechneten Anteil hat.

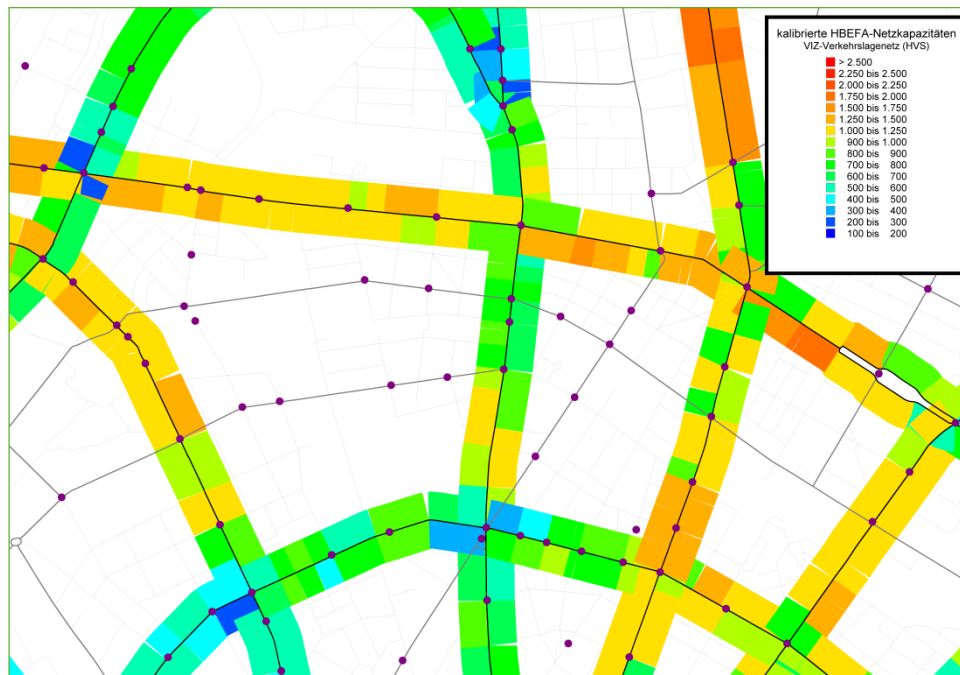
In Verfeinerung zu der angebotenen Vorgehensweise wurde die Schrittweite der Iteration auf 10 Kfz/h reduziert.

Für das Kapazitätsmodell wurden die folgenden Zuordnungen der Auslastungsgrade zu den HBEFA-Verkehrszuständen verwendet:

- bis 15 %: Verkehrszustand „frei“
- 15 – 80 %: Verkehrszustand „dicht“
- 80 – 100 %: Verkehrszustand „gesättigt“
- ab 100 %: Verkehrszustand „Stop+Go“

## 5.2 Resultierende HBEFA-Netzkapazitäten

Diese HBEFA-Netzkalibrierung wurde auf dem gesamten VIZ-Verkehrslagenetz durchgeführt. Das Ergebnis ist in den Karten 11 und 12 im Anhang dargestellt. In Abbildung 14 ist ein Auszug aus diesen Karten dargestellt.



**Abbildung 14: Kalibrierte Netzkapazitäten auf dem VIZ-Verkehrslagenetz (Auszug aus Karte 12 im Anhang)**

In der Karte ist zu erkennen, dass die HBEFA-Netzkapazitäten entlang von Streckenabschnitten wie erwartet nicht konstant sind. Vielmehr sind die HBEFA-Netzkapazitäten im Zufluss zu den Knotenpunkten eher geringer als im Abfluss bzw. als im Zwischenbereich. Dies ist erforderlich, um mit dem Auslastungsmodell den Rückstau vor Knotenpunkten analog zu den FCD abbilden zu können.

Im Vergleich zu den im LRP 2011 verwendeten, aus verkehrstechnischen Überlegungen abgeleiteten Kapazitäten lässt sich feststellen, dass die mittels Kalibrierung ermittelten HBEFA-Netzkapazitäten tendenziell niedriger sind. Darüber hinaus sind die kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten deutlich feiner räumlich differenziert.

Zum Vergleich wurden die HBEFA-Netzkapazitäten auf die Anzahl der Fahrstreifen bezogen. Im LRP 2011 wurden prinzipiell je Fahrstreifen eine Kapazität von 800 Kfz/h für die Hauptverkehrsstraßen und 2.000 Kfz/h für die Autobahnen unterstellt. Die kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten sind ten-

denziell niedriger. Dies zeigt der Median der jeweiligen Verteilung (siehe Abbildung 15):

- Bundesstraßen: 630 Kfz/h
- übrige Hauptverkehrsstraßen im VIZ-Verkehrslagenetz: 540 Kfz/h

Die Häufigkeitsverteilung zeigt jedoch auch, dass auf vielen Abschnitten die HBEFA-Netzkapazität höher als 800 Kfz/h anzusetzen ist.

Auf den Autobahnen sind die HBEFA-Netzkapazitäten ebenfalls tendenziell niedriger als im LRP 2011 angesetzt. Der Häufigkeitsverteilung in Abbildung 16 ist eine deutlich breitere Streuung der Kapazitäten als auf den übrigen Hauptverkehrsstraßen zu entnehmen. Eine Ursache hierfür ist, dass auch Ein-, Aus- und Überfahrten als BAB klassifiziert sind.

Beide Abbildungen unterstreichen, dass es sich bei den HBEFA-Netzkapazitäten nicht um verkehrstechnische Kapazitäten im Sinne des HBS, sondern um rechnerische Größen zur Ableitung des Verkehrszustands nach HBEFA handelt.

#### Häufigkeit der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen (als Anteil an der richtungsbezogenen Netzlänge)

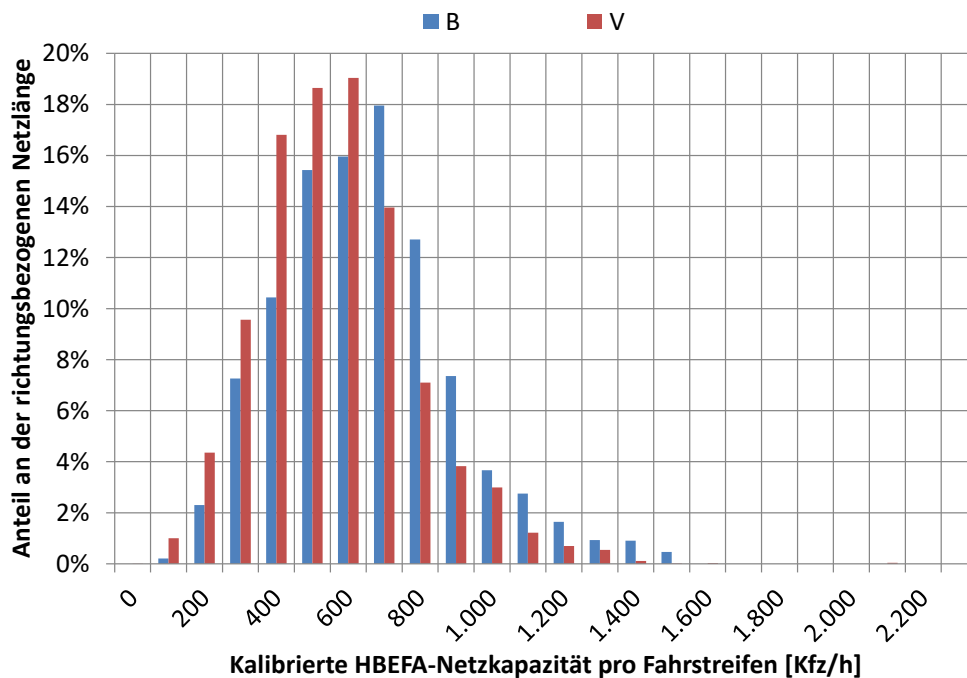
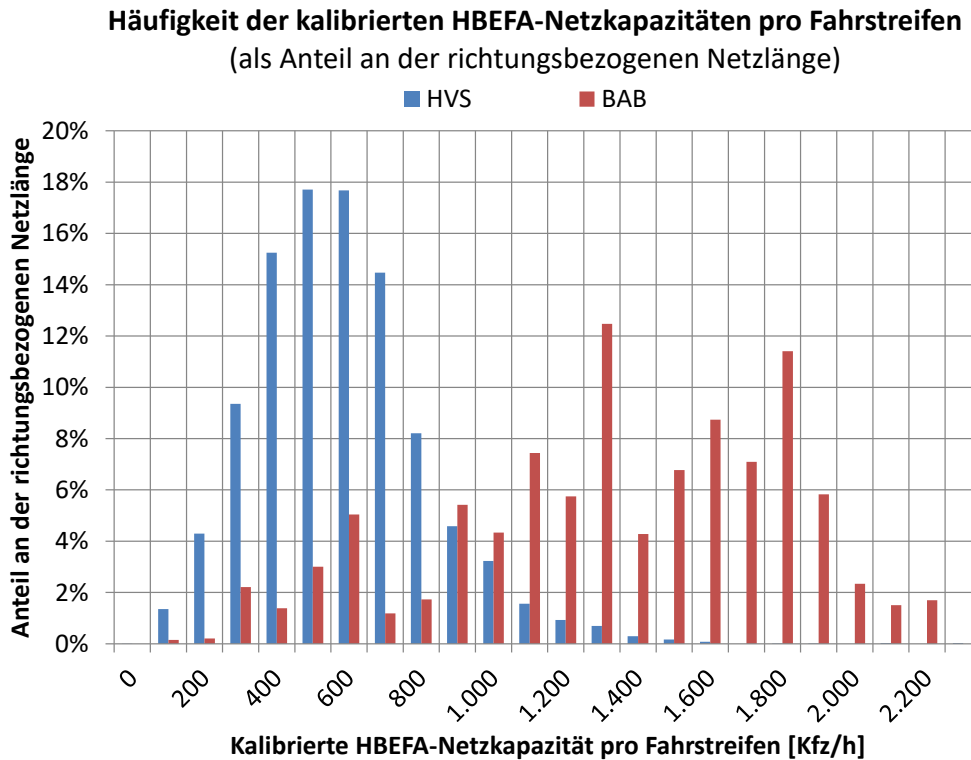


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen auf den Hauptverkehrsstraßen (B: Bundesstraßen, V: übrige Hauptverkehrsstraßen)





**Abbildung 16:** Häufigkeitsverteilung der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen, unterteilt nach Autobahnen und übrigen Hauptverkehrsstraßen

In beiden Abbildungen wurden die Häufigkeiten nicht über die Anzahl der Streckenabschnitte, sondern über deren Länge ermittelt.

### 5.3 Verwendetes Kapazitätsmodell

Das zur Anwendung gebrachte Kapazitätsmodell berücksichtigt den Tages-, Wochen- und Jahresgang der Kfz-Verkehrsstärke je Streckenabschnitt.

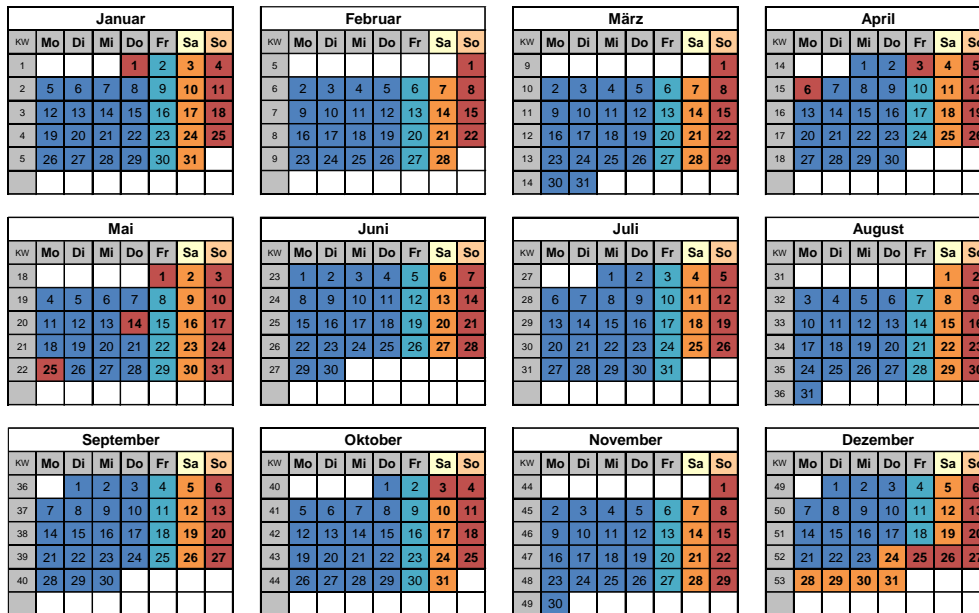
Der Tagesgang wird mit stündlicher Auflösung abgebildet. Für den Wochengang werden vier Tagestypen herangezogen, die sich durch unterschiedliche Formen der Tagesganglinien auszeichnen:

- Montag-Donnerstag (2015: 200 Tage)
- Freitag (2015: 49 Tage)
- Samstag (2015: 55 Tage)
- Sonn- und Feiertag (2015: 61 Tage)

Die Zuordnung der Tage des Jahres 2015 zu den Tagestypen erfolgte mittels Clusteranalyse auf Basis der lokalen Messdaten der VIZ Berlin (siehe Abbildung 17). Für andere Kalenderjahre (z. B. bei Prognosen) müssen entsprechend angepasste Häufigkeiten der Tagestypen verwendet werden.

Im Ergebnis hat sich herausgestellt, dass hinsichtlich der Form der Tagesganglinien (Anteil am Tagesverkehr) eine separate Betrachtung der Ferien

nicht erforderlich ist. Hier sind zwar geringere Tagesverkehrsstärken zu verzeichnen, jedoch ist die Form der Ganglinien gegenüber den Zeitbereichen außerhalb der Ferien nicht wesentlich verändert. Die Absenkung der absoluten Tagesverkehrsstärke wird durch den Jahresgang berücksichtigt (siehe unten).



#### Gesetzliche Feiertage 2015 (Berlin)

1. Januar	Neujahr	6. April	Ostermontag	14. Mai	Christi Himmelfahrt	3. Oktober	Tag der Dt. Einheit	26. Dezember	2. Weihnachtstag
3. April	Karfreitag	1. Mai	Tag der Arbeit	25. Mai	Pfingstmontag	25. Dezember	1. Weihnachtstag		

Abbildung 17: Zuordnung der Tage des Jahres 2015 zu den Tagestypen (Form der Tagesganglinien)

Die Tagesganglinien beschreiben jeweils den Anteil der jeweiligen Stunde an der Kfz-Tagesverkehrsstärke. Die Tagesganglinien sind streckenabschnitts- und richtungsbezogen getrennt gebildet worden. Hierzu wurden mithilfe des Verkehrsmodells der VMZ Berlin zunächst die mittleren stündlichen Verkehrsstärken je Tagestyp und Stunde abschnitts- und richtungsgetrennt berechnet und mithilfe der lokalen Messdaten kalibriert. Aus den so entstandenen 4x24 Verkehrsstärkewerten wurden je Abschnitt und Richtung die jeweiligen Anteile am Tagesverkehr bestimmt.

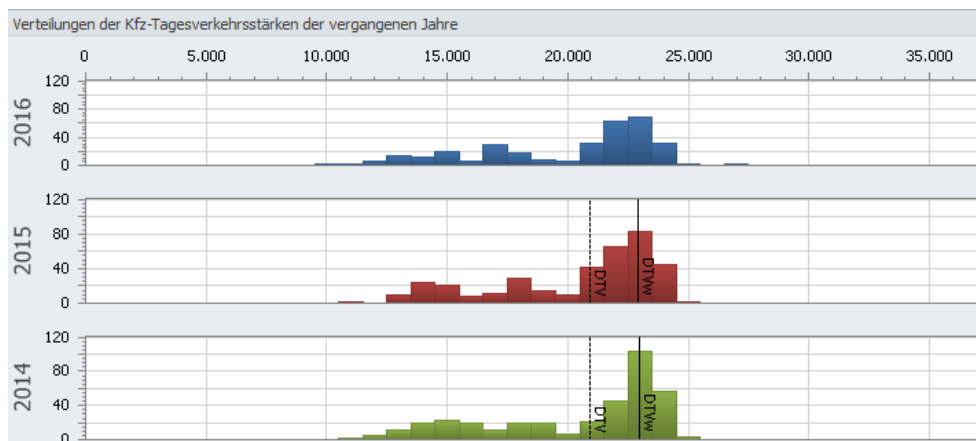
Zur Berechnung der Absolutwerte der stündlichen Kfz-Verkehrsstärken wurde die Straßenverkehrszählung 2014 der VLB herangezogen. Hierin sind die  $DT_W$ -Werte enthalten, die mit folgenden Faktoren auf die Mittelwerte der Tagesgruppen umgerechnet wurden:

- Montag-Donnerstag und Freitag: 1,0
- Samstag: 0,8
- Sonn- und Feiertag: 0,6

Hieraus ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von  $DT_W$  auf  $DTV$  in Höhe von 0,903. Dies entspricht den von SenStadtUm VII A veröffentlichten Umrech-

nungsfaktoren von 0,91 für BAB und 0,90 für die übrigen Hauptverkehrsstraßen.

Der Jahrgang wurde in stochastischer Form berücksichtigt. Hierbei wurde abgebildet, dass die Tage einer Tagesgruppe im Laufe des Jahres unterschiedliche Tagesverkehrsstärken um den Mittelwert herum verteilt aufweisen (siehe Beispiel in Abbildung 18). Zu erkennen ist, dass sich die Jahresverteilungen der Tagesverkehrsstärken aus drei Verteilungen zusammensetzen: einer stark besetzten Verteilung mit höheren Verkehrsstärken für die Tagestypen Mo-Do und Fr sowie zwei weniger stark besetzten Verteilungen mit geringeren Verkehrsstärken für die Tagestypen Sa und So+Ft.

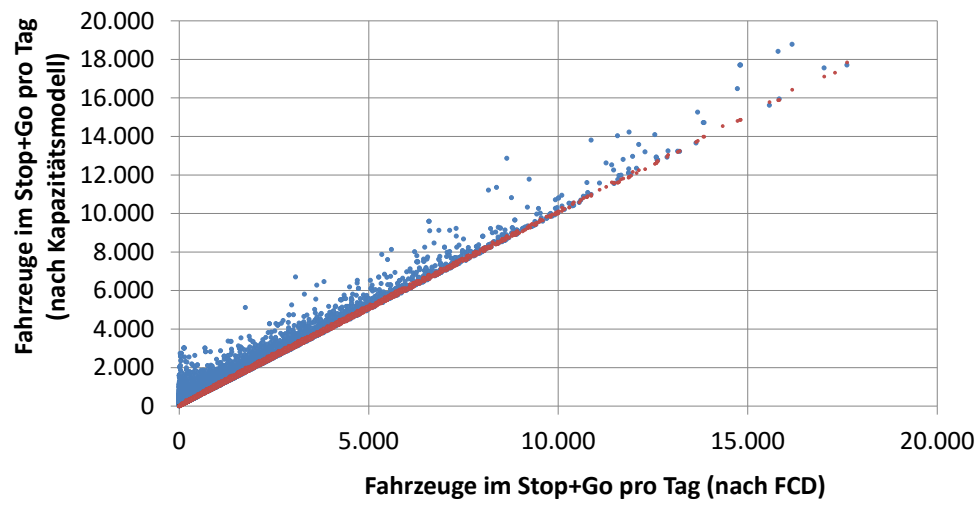


**Abbildung 18: Beispiel für die Verteilung der Tagesverkehrsstärken (hier: TE014 Mariendorfer Damm stadteinwärts)**

Durch die Abbildung des Jahrgangs werden Sprungfunktionen vermieden und eine deutlich bessere Anpassung des Kapazitätsmodells an die aus den FCD berechneten Verkehrszustände erreicht (siehe Abbildung 19).

**Vergleich der Stop+Go-Anteilen aus FCD und Kapazitätsmodell**

- Kapazitätsmodell ohne Jahresgang
- Kapazitätsmodell mit Jahresgang (stochastischer Ansatz)



**Abbildung 19: Vergleich der Stop+Go-Anteile aus FCD und Kapazitätsmodell (mit vs. ohne Jahresgang)**

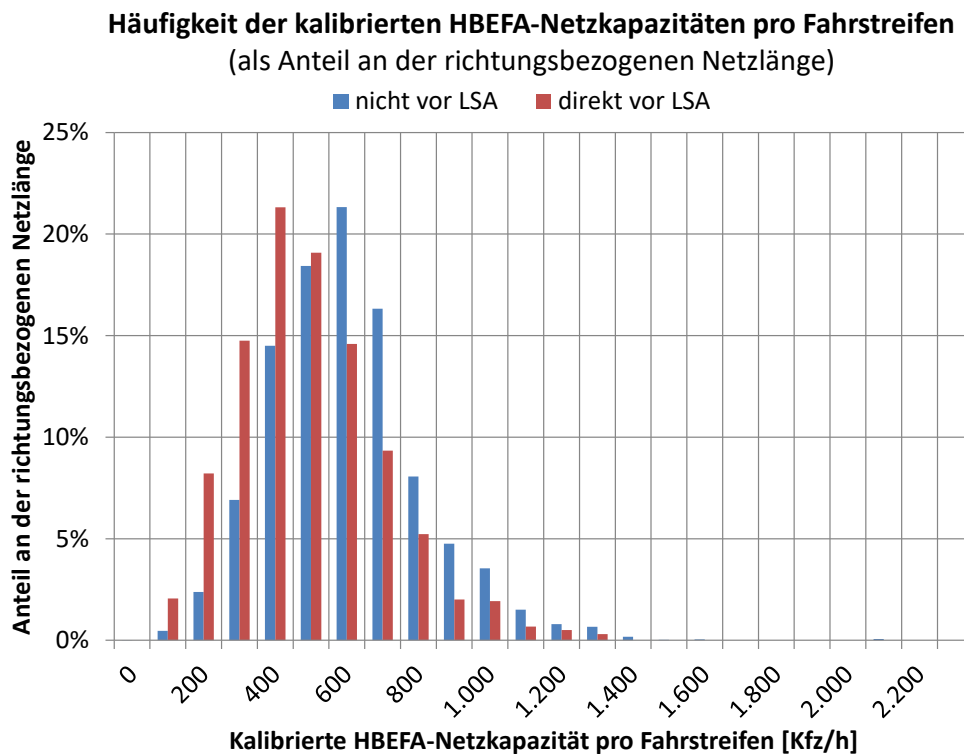
## 6 Übertragung der HBEFA-Netzkapazitäten auf das übrige Hauptverkehrsstraßennetz

Das VIZ-Verkehrslagenetz umfasst ungefähr die Hälfte des Berliner Hauptverkehrsstraßennetzes (siehe Karte 1 im Anhang). Abgedeckt sind die Straßenabschnitte mit den StEP-Kategorien I und II, nicht abgedeckt sind somit die Kategorien III und IV. Gegenstand des AP 500 ist die Fortschreibung der auf dem VIZ-Verkehrslagenetz bestimmten HBEFA-Netzkapazitäten auf das übrige Hauptverkehrsstraßennetz mittels eines Übertragungsansatzes.

Zur Entwicklung dieses Übertragungsansatzes wurden zunächst die auf dem VIZ-Verkehrslagenetz berechneten HBEFA-Netzkapazitäten im Hinblick auf Regelmäßigkeiten analysiert. Hierzu zählen sowohl die Straßenkategorie als auch die Lage des Abschnitts in Bezug auf verkehrsrelevante Knotenpunkte, insbesondere mit LSA. Im Anschluss wurden diese Erkenntnisse auf das verbleibende Netz angewendet und die Ergebnisse einer Plausibilitätsprüfung im Hinblick auf die Netzkapazitäten selbst und auf die resultierenden Stop+Go-Anteile unterzogen.

Die für die Fortschreibung relevanten Straßenabschnitte haben eine niedrigere Kategorie als die Straßenabschnitte des VIZ-Verkehrslagenetzes. Betrachtet man die Verteilung der HBEFA-Netzkapazitäten für die Hauptverkehrsstraßen, unterteilt nach Bundesstraßen und übrigen HVS (siehe Abbildung 15), so ist für die Übertragung eher von den niedrigeren Kapazitäten auszugehen.

Darüber hinaus wurde bei der Analyse der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten erwartungsgemäß festgestellt, dass in den Zufahrten zu den Knotenpunkten niedrigere HBEFA-Kapazitäten resultieren als auf den übrigen Abschnitten. In Abbildung 20 ist die Häufigkeitsverteilung der kalibrierten Kapazitäten für die Hauptverkehrsstraßen des VIZ-Verkehrslagenetzes (ohne BAB) nach Abschnitten in der Zufahrt zu Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage und den übrigen Abschnitten unterteilt.

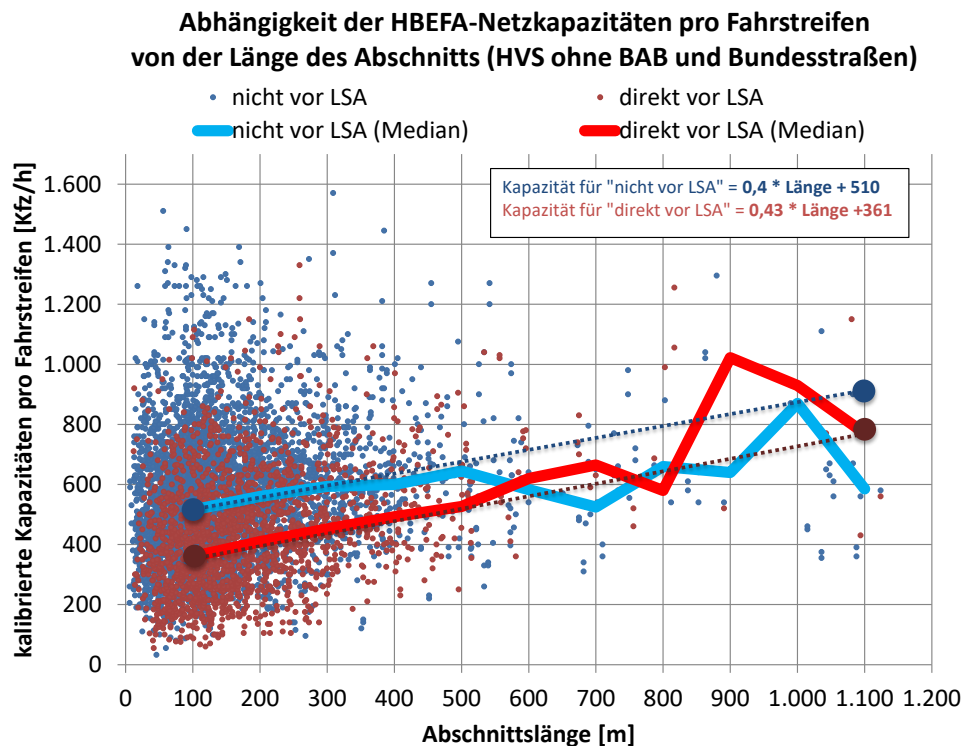


**Abbildung 20:** Verteilung der HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen auf Hauptverkehrsstraßen unmittelbar vor Knotenpunkten mit LSA im Vergleich zu den übrigen Abschnitten

Hieraus ergeben sich als Median der Verteilungen folgende mittlere HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen:

- alle Abschnitte auf HVS (ohne Bundesstraßen): 540 Kfz/h, davon
  - Abschnitte vor LSA: 460 Kfz/h
  - übrige Abschnitte: 580 Kfz/h

Des Weiteren wurde untersucht, ob die Abschnittslänge einen Einfluss auf die ermittelte HBEFA-Netzkapazität hat. Hintergrund ist die These, dass auf längeren Abschnitten, insbesondere außerhalb der Innenstadt, der Störungsanteil niedriger und damit die HBEFA-Netzkapazität höher ist. Trotz großer Streuungen der Kapazitäten konnten dieser prinzipielle Einfluss empirisch gezeigt und Schätzformeln abgeleitet werden (siehe Abbildung 21).



**Abbildung 21: Abhängigkeit der HBEFA-Netzkapazitäten pro Fahrstreifen von der Abschnittslänge**

Im Bereich der höheren Abschnittslängen (ab ca. 600 m) liegen nur noch sehr wenige Datensätze vor, sodass hier kein einheitlicher Trend ablesbar ist. Die Schätzformeln in Abbildung 21 wurden daher aus dem Bereich kleiner als 600 m heraus extrapoliert. In diesem Bereich liegen mehr als 88 % des StEP-Netzes.

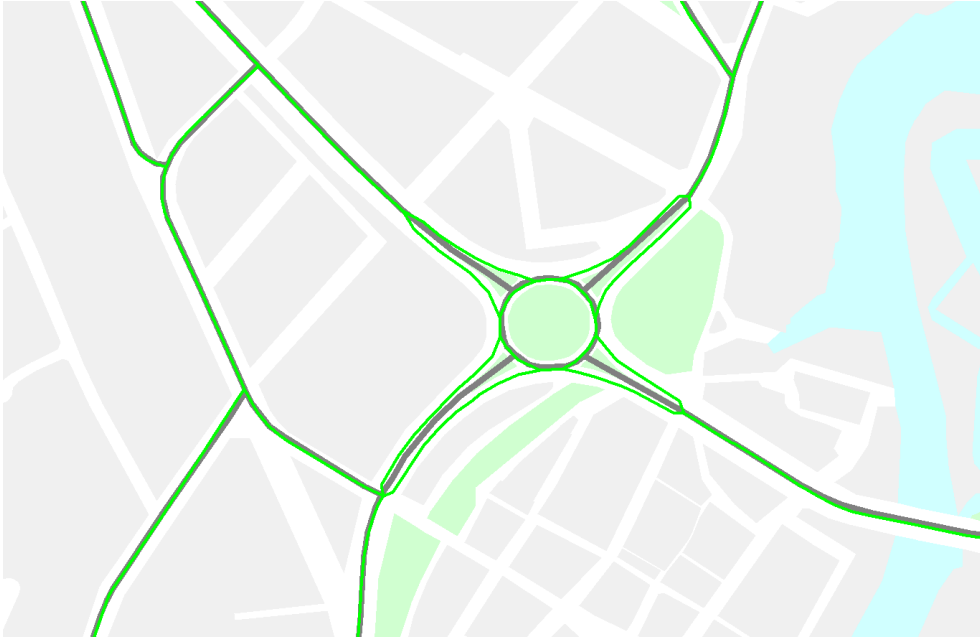
Bei der Anwendung dieser Schätzformeln auf die Netzelemente außerhalb des VIZ-Verkehrslagenetzes wurde festgestellt, dass zwar im Bereich der Knotenpunkte mit dem VIZ-Verkehrslagenetz plausible Stop+Go-Anteile entstehen, jedoch wird die HBEFA-Netzkapazität auf den übrigen Abschnitten im Verlauf der Straßenzüge der StEP-Kategorie III und IV systematisch unterschätzt. Daher wurde für die Übertragung der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten folgender mehrstufiger Ansatz entwickelt (siehe Tabelle 2):

Abschnitt auf VIZ-Verkehrslagenetz	Abschnitt vor LSA	LSA an übergeordnetem Knotenpunkt (Kreuzung mit VIZ-Verkehrslagenetz)	Übertragungsansatz für HBEFA-Netzkapazität
ja			aus FCD abgeleitet / kalibriert
nein	ja	ja	Berechnung aus Schätzformel in Abhängigkeit von der Abschnittslänge (siehe Abbildung 21)
		nein	Höchstwert der stündlichen Verkehrsstärke (mittlere Verkehrsstärken je Tagestyp und Stunde)
	nein	Höchstwert der stündlichen Verkehrsstärke +10% (mittlere Verkehrsstärken je Tagestyp und Stunde)	

**Tabelle 2: Mehrstufiger Ansatz zur Übertragung der kalibrierten HBEFA-Netzkapazitäten auf Abschnitte außerhalb des VIZ-Verkehrslagenetzes**

Für einen Teil der Abschnitte konnten die Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke nicht aus den Umlegungsergebnissen abgeleitet werden, da diese Abschnitte nicht vom benutzten VISUM-Simulationsnetz abgedeckt sind. Dies betrifft einerseits andersartige Digitalisierungen von Knotenpunkten (z. B. Falkenseer Platz in Spandau, siehe Abbildung 22) und andererseits Straßen mit sehr geringer verkehrlicher Bedeutung im Gesamtnetz (z. B. Jesse-Owens-Allee, siehe Abbildung 23).





**Abbildung 22: Beispiel für unterschiedliche Digitalisierung von Knotenpunkten (hier: Falkenseer Platz, grün: Umweltnetz, grau: VISUM-Netz)**



**Abbildung 23: Beispiel für im VISUM-Netz nicht abgedeckten Straßenabschnitt (hier: Jesse-Owens-Allee – grün, nicht grau hinterlegt)**

Für diese Abschnitte wurden die Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke aus benachbarten Straßenabschnitten übertragen.

## 7 Ableitung des Verkehrszustands für den IST-Fall mittels Kapazitätsmodell für das gesamte Hauptverkehrsstraßennetz

Auf Basis der für das gesamte Netz ermittelten HBEFA-Netzkapazitäten (siehe Kapitel 5 und 6) wurden für den IST-Fall die Anteile der Verkehrszustände flüssig, dicht, gesättigt und Stop+Go am DTV sowie stundenbezogen für die vier verwendeten Tagestypen Montag-Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonn-/Feiertag berechnet. Grundlage bilden das in Kapitel 5.3 dargestellte Kapazitätsmodell sowie die Kfz-Verkehrsstärken wie in Kapitel 2 beschrieben.

Auf dem VIZ-Verkehrslagenetz stimmt das Ergebnis des Kapazitätsmodell mit den aus den FCD ermittelten Verkehrszuständen weitgehend überein (siehe Abbildung 19 auf Seite 21). Das Ergebnis des Stop+Go-Anteils für das Gesamtnetz kann der Karte 12 in Anhang 2 entnommen werden.

Im Vergleich zum LRP 2011 ergeben sich insgesamt deutlich höhere Anteile der Verkehrszustände Stop+Go und gesättigt. Für diese vergleichende Darstellung wurden die Jahresfahrleistungsanteile auf den beiden verwendeten Netzen (LRP 2011: Basisnetz Version 2.2, dieses Projekt: Detailnetz Version 5) berechnet und miteinander verglichen (siehe Abbildung 24).

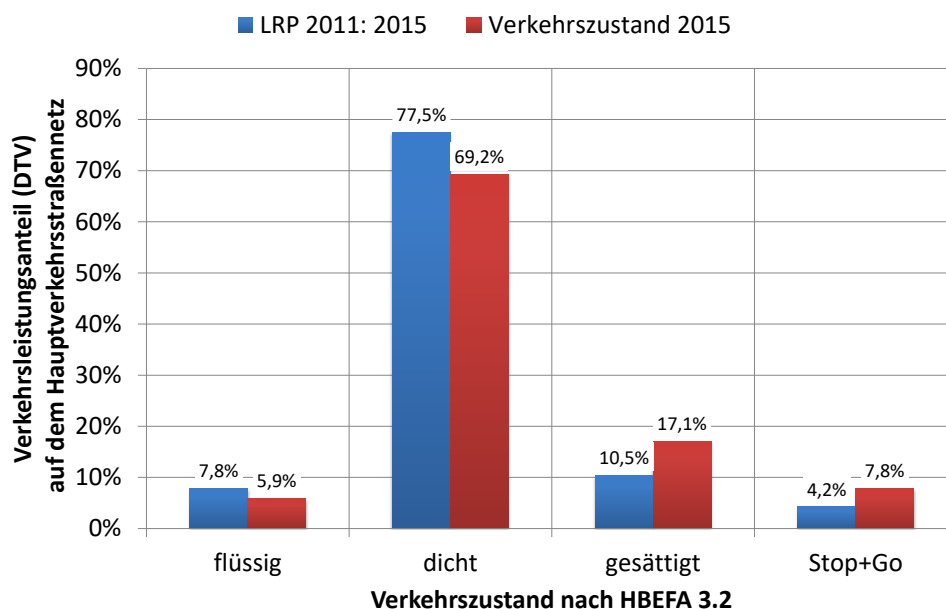


Abbildung 24: Vergleich der Verkehrsleistungsanteile (DTV) der vier Verkehrszustände nach HBEFA vom LRP 2011 (Prognose 2015) mit diesem Projekt

Der Verkehrszustand „flüssig“ geht von 7,8 % auf 5,9 % zurück, da die HBEFA-Netzkapazitäten gegenüber den Ansätzen im LRP 2011 im Mittel niedriger sind (siehe Abbildung 15 auf Seite 17 und Abbildung 16 auf Seite 18).

Dies entspricht aber noch immer der Aussage der HBEFA-Autoren, dass dieser Verkehrszustand nur in wenigen Nachtstunden auftritt. Eine große Auswirkung auf den Jahresmittelwert  $\text{NO}_x$  bzw.  $\text{NO}_2$  ist nicht zu erwarten, da die Emissionsfaktoren dieses Verkehrszustands und der Anteil an der Jahresfahrleistung niedrig sind.

Der Anteil des Verkehrszustands „dicht“ geht ebenfalls zurück, und zwar im Wesentlichen zugunsten der Verkehrszustände „gesättigt“ und „Stop+Go“. Um die Ursachen hierfür zu ermitteln, wurde der Anteil der Verkehrszustände an der Jahresfahrleistung nach StEP-Kategorie der einzelnen Straßenabschnitte differenziert untersucht (siehe Abbildung 25). StEP-Kategorie 0, I und II sind vom VIZ-Verkehrslagenetz abgedeckt (siehe Kapitel 3). Für die Kategorien III und IV mussten Übertragungsansätze genutzt werden (siehe Kapitel 6).

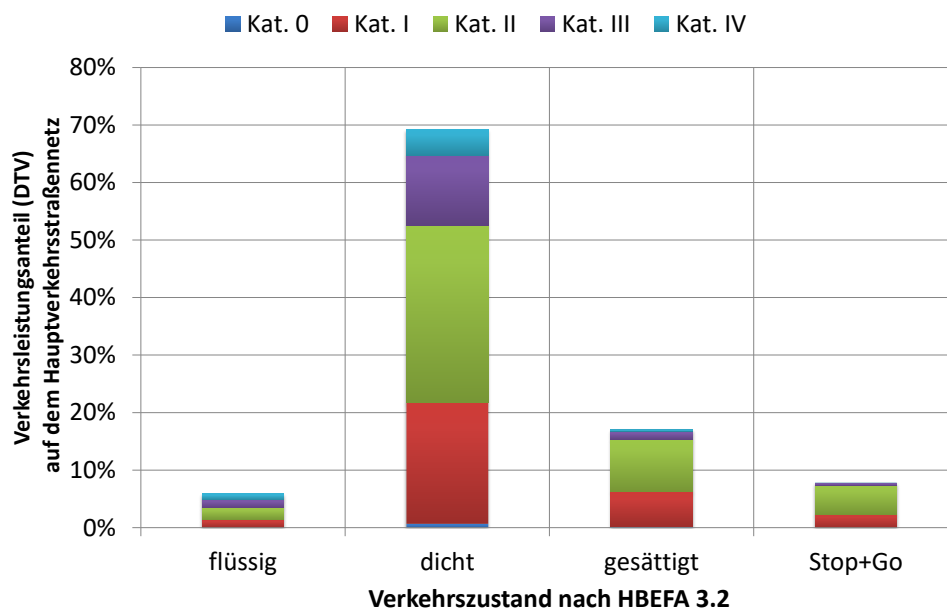


Abbildung 25: Aufteilung der Verkehrsleistungsanteile des am DTV auf die StEP-Kategorien (IST-Fall)

Abbildung 25 kann entnommen werden, dass die maßgeblichen Anteile für die Verkehrszustände „gesättigt“ und „Stop+Go“ auf den Abschnitten der StEP-Kategorie I und II entstehen und nicht auf den Abschnitten der Kategorie III bzw. IV. Das bedeutet, dass diese Anteile maßgeblich aus den FCD und nicht aus dem Kapazitätsmodell resultieren. Der Ansatz, den Verkehrszustand aus den mittleren Geschwindigkeiten der FCD im Vergleich zu den HBEFA-Fahrzyklen abzuleiten (siehe Kapitel 3), führt damit zu diesen höheren Anteilen.

# Anhang 1: Detailbericht zur Berechnung der Emissionen und Immissionen an fünf Abschnitten

## Berechnung der Emissionen und Immissionen sowie Diskussion der Ergebnisse an fünf Abschnitten

In diesem Arbeitspaket wurden die Auswirkungen der mit dem neuen FCD-Ansatz abgeleiteten Verkehrszustände (siehe Kapitel 3) auf die  $\text{NO}_x$ - bzw.  $\text{NO}_2$ -Emissionen und  $\text{NO}_2$ -Immissionen an fünf vom AG ausgewählten Straßenabschnitten berechnet und die Eignung des Ansatzes diskutiert.

Die Modellierungen wurden analog zu den Verfahren des Luftreinhalteplan Berlin (LRP Berlin) mit  $\text{IMMIS}^{\text{em}}$  für die Kfz-Emissionen auf Basis HBEFA 3.2 und Angaben zur Kfz-Flotte der Senatsverwaltung und mit dem Screeningverfahren  $\text{IMMIS}^{\text{luft}}$  und dem vereinfachten Detailverfahren  $\text{IMMIS}^{\text{cpb}}$ <sup>2</sup> durchgeführt. Als Bezugsjahr der Luftschadstoff-Modellierung wurde 2014 festgelegt.

Als meteorologische Eingangsdaten für  $\text{IMMIS}^{\text{cpb}}$  wurden Flughafendaten (METAR) vom Flughafen Tegel abgeleitet. Für das Screening mit  $\text{IMMIS}^{\text{luft}}$  wurden die Kopplungsdaten entsprechend dem LRP Berlin verwendet. Die Vorbelastung wurde aus den Messdaten von der BLUME-Messstation MC10 abgeleitet.

Im Ergebnis wurden Jahresmittelwerte für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  berechnet, die mit vorhandenen Messdaten verglichen wurden. Der Vergleich wurde anhand von Jahresmittelwerten für  $\text{IMMIS}^{\text{luft}}$  und  $\text{IMMIS}^{\text{cpb}}$  und ergänzend mit 2-Wochen-Mittelwerten bei den Passivsammlern und stündlichen Daten bei den BLUME-Stationen durchgeführt.

---

<sup>2</sup> Bei der Verwendung von  $\text{IMMIS}^{\text{cpb}}$  können die Kfz-Emissionen fahrtrichtungsgetrennt und die Geometrie detailliert in die Modellierung eingehen. Auf Wunsch können optional auch Ausbreitungsrechnungen mit MISKAM durchgeführt werden.

## Methodik

### Betrachtete Abschnitte

Modellierung der Luftschadstoffbelastung erfolgte an den folgenden fünf vom AG ausgewählten Straßenabschnitten mit vorhandenen Luftschadstoffmessungen (siehe Tabelle 3):

- Schildhornstraße zwischen Gritznerstraße und Lepsiusstraße am MC 117
- Leipziger Straße zwischen Charlottenstraße und Friedrichstraße am Passivsammler MC 525
- Potsdamer Straße zwischen Lützowstraße und Pohlstraße am Passivsammler MC 505
- Hauptstraße zwischen Dominicusstraße und Kärntener Straße am Passivsammler MC 530
- Frankfurter Allee am MC 174

Für alle fünf Abschnitte wurden von der VMZ fahrrichtungsbezogene Verkehrsdaten als Stundenzreihe für 2015 bereitgestellt (siehe Kapitel 2).

			Jahresmittelwert 2014 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		
Nr.	Name	MC	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	Ozon
1	Schildhornstraße	117	106	49	
2	Leipziger Straße	525	177	69	
3	Potsdamer Straße	505	134	60	
4	Hauptstraße	530	125	57	
5	Frankfurter Allee	174	89	42	
	Amrumer Straße (Wedding)	10	42	28	41

**Tabelle 3: Luftschadstoffmessdaten 2014 an den fünf ausgewählten Hotspots und an der Hintergrundstation MC 10**

## Modellierung mit IMMIS<sup>luft</sup>

Die Berechnungen erfolgte mit dem Programm IMMIS<sup>em/luft</sup> Version 6.1.

### Datengrundlage

Grundlage der Modellierung bilden die Daten aus dem Projekt „Modellrechnungen für die Gesamtbelastung an Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) im Straßenraum zur Aktualisierung des Berliner Luftreinhalteplans 2011-2017 für die Jahre 2013 – 2020“, vom Dezember 2014. Die in diesem Projekt verwendeten DTV-Werte waren die 2009 für das Jahr 2015 prognostizierten Werte. Die Hintergrundwerte wurden für das Jahr 2014 aus Messdaten angepasst. Aus diesen Untersuchungen wurde das IMMIS<sup>luft</sup>-Projekt für den Worst-Case 2014 herangezogen und schrittweise gemäß der im Folgenden beschriebenen Varianten aktualisiert:

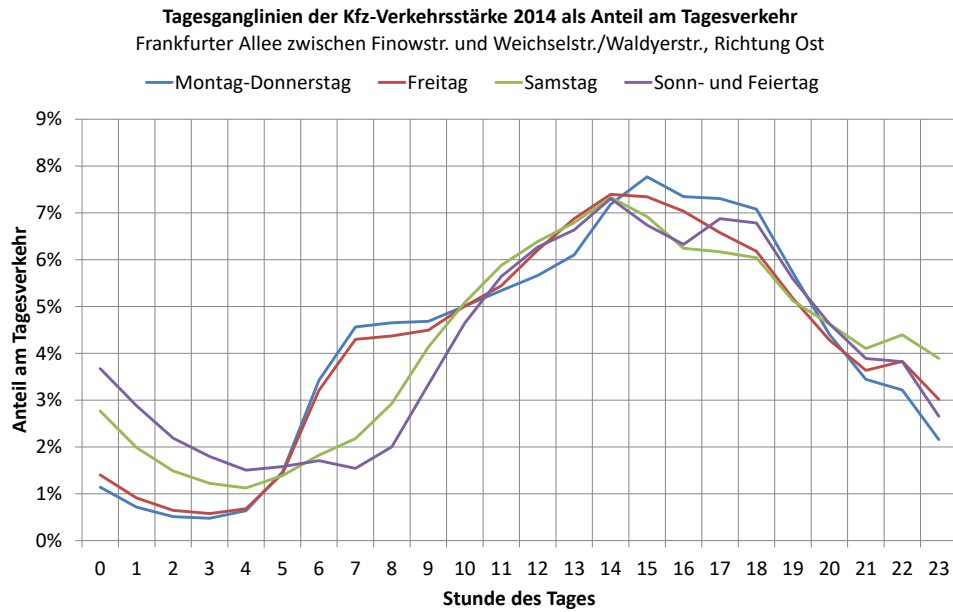
- Variante 1: Anpassung der NO<sub>x</sub>- und Ozon-Vorbelastung auf den Jahresmittelwert der Station Amrumer Straße (Wedding): MC010
- Variante 2: Variante 1 mit angepasstem DTV und Anteil schwerer Lkw aus den VMZ-Daten
- Variante 3: Variante 2 mit angepasstem LOS aus den FCD-Ableitungen der VMZ
- Variante 4: Variante 3 mit angepasstem LOS aus dem Kapazitätsmodell mit kalibrierter Kapazität der VMZ, jedoch ohne Berücksichtigung des Jahresgangs

Die Eingangsdaten des Ausgangszustands (IMMIS 2014) und der drei Varianten sind in folgender Tabelle 4 für die fünf IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte aufgelistet. Dabei sind jeweils die zur Vorgängervariante geänderten Eingangsdaten gelb markiert.

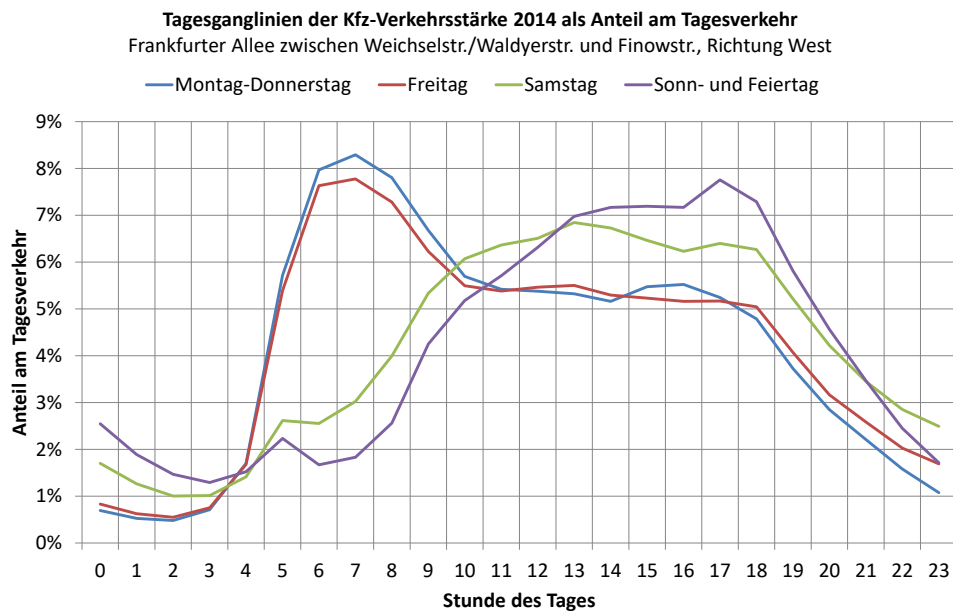
Die Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Abschnitte Frankfurter Allee und Schildhornstraße sind in Abbildung 26 bis Abbildung 29 dargestellt.

Variante	Name	DTV [Kfz/24h]	SL <sub>KW</sub> [%]	LOS1 [%]	LOS2 [%]	LOS3 [%]	LOS4 [%]	VNOX _M [µg/m <sup>3</sup> ]	VO3 _M [µg/m <sup>3</sup> ]
<b>IMMIS 2014</b>	Schildhornstr.	31.985	2,3	3,4	81,1	14,0	1,5	30,8	53,0
Var. 1		31.985	2,3	3,4	81,1	14,0	1,5	42,0	41,0
Var. 2		32.710	1,8	3,4	81,1	14,0	1,5	42,0	41,0
Var. 3		32.710	1,8	3,1	81,9	12,5	2,5	42,0	41,0
Var. 4		32.710	1,8	3,3	41,3	47,5	7,9	42,0	41,0
<b>IMMIS 2014</b>	Leipziger Str.	36.691	2,6	2,9	59,6	29,7	7,8	35,6	53,2
Var. 1		36.691	2,6	2,9	59,6	29,7	7,8	42,0	41,0
Var. 2		42.736	2,5	2,9	59,6	29,7	7,8	42,0	41,0
Var. 3		42.736	2,5	1,3	67,1	16,8	14,8	42,0	41,0
Var. 4		42.736	2,5	1,0	35,6	47,4	16,0	42,0	41,0
<b>IMMIS 2014</b>	Potsdamer Str.	30.739	2,6	1,2	29,0	39,9	29,9	36,7	53,2
Var. 1		30.739	2,6	1,2	29,0	39,9	29,9	42,0	41,0
Var. 2		26.381	2,8	1,2	29,0	39,9	29,9	42,0	41,0
Var. 3		26.381	2,8	0,0	33,3	36,6	30,1	42,0	41,0
Var. 4		26.381	2,8	1,0	34,1	32,8	32,1	42,0	41,0
<b>IMMIS 2014</b>	Hauptstr.	22.300	3,2	6,7	93,2	0,1	0,0	38,5	53,1
Var. 1		22.300	3,2	6,7	93,2	0,1	0,0	42,0	41,0
Var. 2		25.120	2,3	6,7	93,2	0,1	0,0	42,0	41,0
Var. 3		25.120	2,3	2,0	41,5	31,0	25,5	42,0	41,0
Var. 4		25.120	2,3	1,6	38,1	32,8	27,5	42,0	41,0
<b>IMMIS 2014</b>	Frankfurter Allee	54.348	2,4	2,9	62,1	28,3	6,7	31,9	53,2
Var. 1		54.348	2,4	2,9	62,1	28,3	6,7	42,0	41,0
Var. 2		47.075	2,4	2,9	62,1	28,3	6,7	42,0	41,0
Var. 3		47.075	2,4	4,4	79,0	9,4	7,2	42,0	41,0
Var. 4		47.075	2,4	3,8	70,1	16,3	9,8	42,0	41,0

**Tabelle 4:** Eingangsdaten der fünf IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte, die im Rahmen der Berechnungen mit IMMIS<sup>luft</sup> variiert wurden

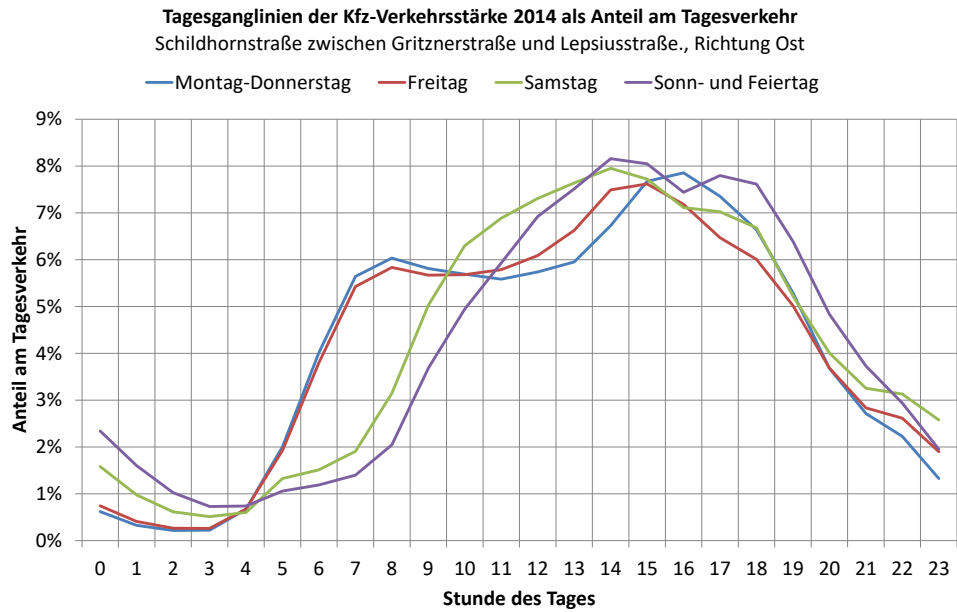


**Abbildung 26: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Frankfurter Allee Richtung Ost**

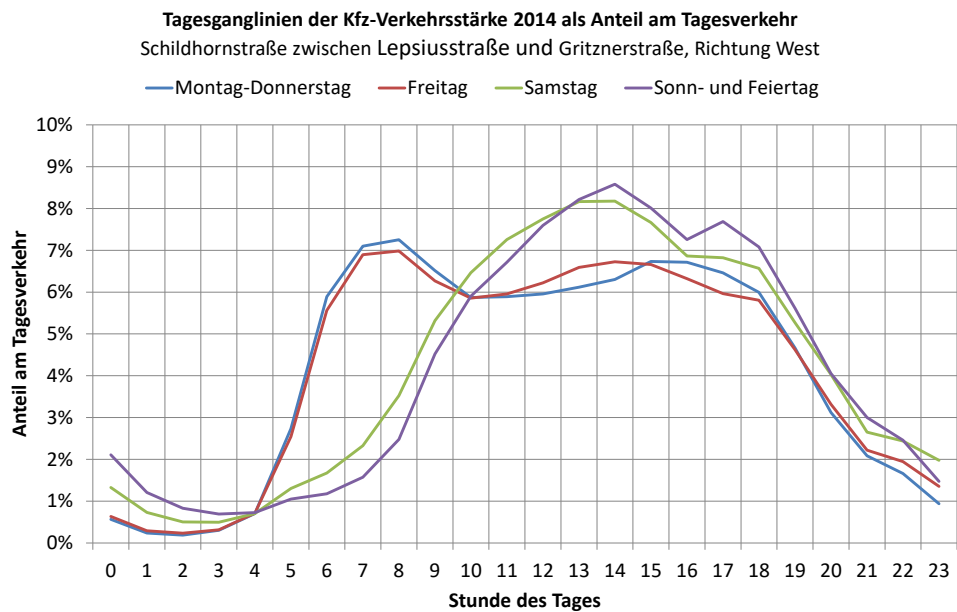


**Abbildung 27: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Frankfurter Allee Richtung West**





**Abbildung 28: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Schildhornstraße Richtung Ost**



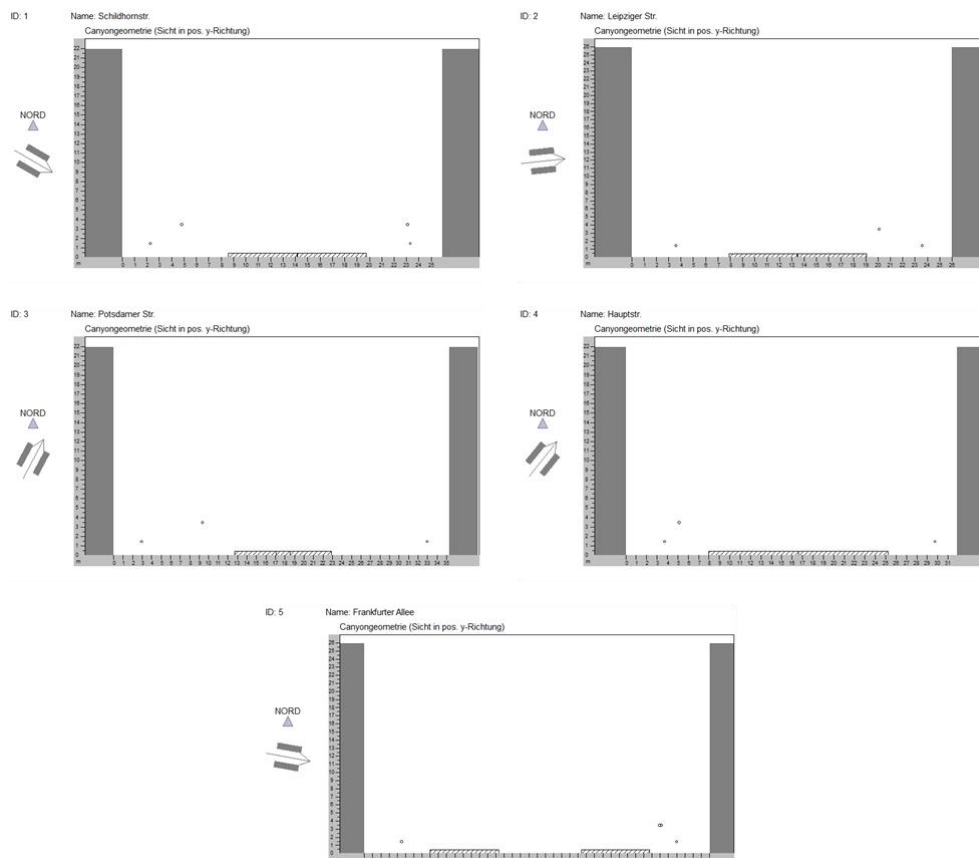
**Abbildung 29: Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke für die Schildhornstraße Richtung West**

## Modellierung mit IMMIS<sup>cpb</sup>

Die Berechnungen erfolgte mit dem Programm IMMIS<sup>cpb</sup> Version 3.3.

### Datengrundlage

Die Datengrundlage für die Berechnungen mit IMMIS<sup>cpb</sup> wurde den Berechnungen zum derzeit gültigen Luftreinhalteplan Berlin 2011-2017 (LRP 2011-2017) entnommen. In den folgenden Darstellungen in der Abbildung 30 sind die Straßenraumquerschnitte für die fünf Straßenabschnitte dargestellt.



**Abbildung 30: Darstellung der Querschnittsgeometrie, wie sie für die Berechnungen mit IMMIS<sup>cpb</sup> verwendet wurden**

Als meteorologische Eingangsdaten für IMMIS<sup>cpb</sup> wurden Flughafendaten (METAR) vom Flughafen Tegel abgeleitet. Die in der Modellierung verwendete Windgeschwindigkeit beträgt gemittelt für das Bezugsjahr 2014 2,2 m/s. Die Vorbelastung wurde stundenfein aus den Daten der Messstation MC 10 übernommen.

Die Berechnungen wurden stundenfein mit den von der VMZ zur Verfügung gestellten richtungsgetrennten Verkehrsdaten zur Verkehrsstärke der Kfz und der schweren Lkw sowie zur Aufteilung der vier Verkehrszustände abgeleitet aus den FCD-Daten durchgeführt.

## Ergebnisse

### Modellierung mit IMMIS<sup>luft</sup>

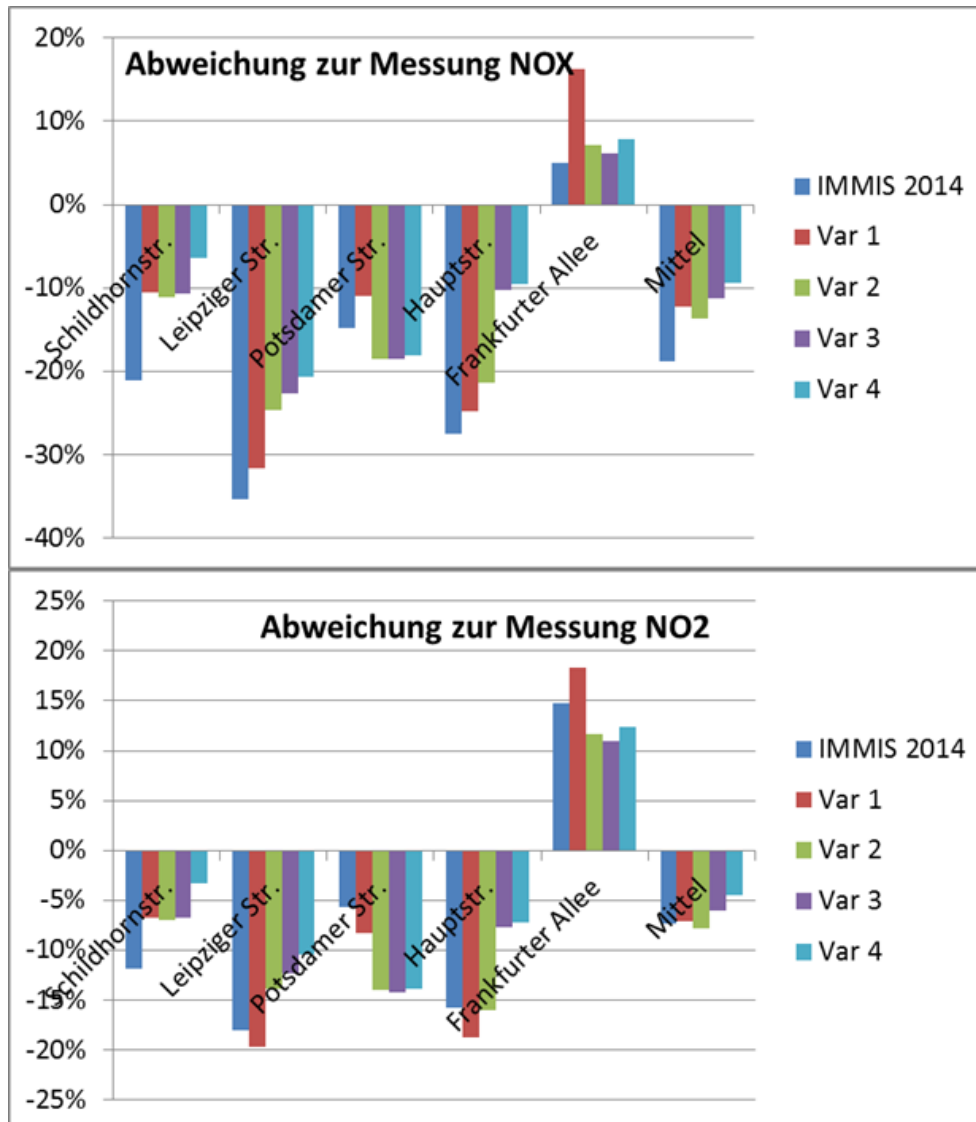
In Tabelle 5 und in Tabelle 6 sind die Jahresmittelwerte der gemessenen und der mit IMMIS<sup>luft</sup> modellierten NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Belastung aufgeführt und in Abbildung 2.1 die relativen Abweichungen berechneten NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten mit den an den fünf Straßenabschnitten in 2014 gemessenen Werten dargestellt.

			Jahresmittelwert NO <sub>x</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]				
Nr.	Name	Messung	IMMIS 2014	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
1	Schildhornstr.	106	83,6	94,8	94,3	94,7	99,2
2	Leipziger Str.	177	114,5	120,9	133,3	136,8	140,5
3	Potsdamer Str.	134	114,1	119,4	109,2	109,1	109,7
4	Hauptstr.	125	90,7	94,1	98,3	112,1	113,1
5	Frankfurter Allee	89	93,4	103,5	95,3	94,4	96

**Tabelle 5: Vergleich der Modellergebnisse für die Varianten mit den Messwerten für den NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwert**

			Jahresmittelwert NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]				
Nr.	Name	Messung	IMMIS 2014	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
1	Schildhornstr.	49	43,2	45,7	45,6	45,7	47,4
2	Leipziger Str.	69	56,6	55,4	59,4	60,5	61,8
3	Potsdamer Str.	60	56,6	55	51,6	51,5	51,7
4	Hauptstr.	57	48	46,3	47,9	52,6	52,9
5	Frankfurter Allee	42	48,2	49,7	46,9	46,6	47,2

**Tabelle 6: Vergleich der Modellergebnisse für die Varianten mit den Messwerten für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert**



**Abbildung 31: Relativen Abweichungen der mit IMMIS<sup>luft</sup> berechneten NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten mit den an den fünf Straßenabschnitten in 2014 gemessenen Werten**

Am Abschnitt der Frankfurter Allee werden die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Messungen durch das Modell überschätzt. An den anderen Abschnitten werden die Messwerte immer durch die Modellierung unterschätzt.

Bei NO<sub>x</sub> wird durch die Anpassung der Vorbelastung (Variante 1) die Unterschätzung immer kleiner und entsprechend in der Frankfurter Allee die Überschätzung größer. Die mittlere Abweichung geht von -18,8 % in der Variante IMMIS 2014 auf -12,3 % in der Variante 1 und 9,4 % in der Variante 4 zurück.

Bei NO<sub>2</sub> führt die Anpassung der Vorbelastung im Vergleich zu IMMIS 2014 zu höheren Konzentrationen in der Schildhornstraße und in der Frankfurter Allee. In diesen beiden Straßen wird in allen Varianten der bisherige Vorbe-

lastungswert für  $\text{NO}_x$  deutlich erhöht. In den drei anderen Straßen fällt die Erhöhung bei der  $\text{NO}_x$ -Vorbelastung geringer aus, so dass sich die ebenfalls überall angenommene Verringerung der Ozon-Vorbelastung stärker auswirkt und damit die  $\text{NO}_2$ -Gesamtbelastung im Vergleich zu IMMIS 2014 erniedrigt.

Die vollständige Anpassung bei den Verkehrsdaten in der Variante 4 führt in der Schildhornstraße, der Leipziger Straße und der Hauptstraße sowie im Mittel zu einer Verringerung der Unterschätzung im Vergleich zur den Auswertungen IMMIS 2014.

In der Potsdamer Straße führt die Anpassung der Verkehrsdaten zu niedrigeren  $\text{NO}_x$ - und  $\text{NO}_2$ -Belastungen, was die Unterschätzung der Messwerte im Vergleich zu IMMIS 2014 erhöht. Ursache für die Verringerung der Belastung in der Potsdamer Straße ist die deutliche Verringerung des DTV in den neuen Verkehrsdaten (Grundlage: Straßenverkehrszählung der VLB, siehe Kapitel 2). Ebenfalls deutlich geringere Verkehrsstärken der Varianten 2 bis 4 führen auch in der Frankfurter Allee zu deutlich niedrigeren Belastungen gegenüber der Variante 1.

Die mittlere Abweichung der Modellwerte von den Messwerten geht mit den vollständig angepassten Verkehrsdaten der Variante 4 gegenüber IMMIS 2014 bei  $\text{NO}_x$  von -18,8 % auf -9,4 % und bei  $\text{NO}_2$  von -7,3 % auf -4,5 % zurück.

Mit Ausnahmen des Abschnitts der Potsdamer Straße führt die Anwendung der FCD-Daten immer zu einer Verringerung der Abweichung von IMMIS<sup>luft</sup>-Modellwerten zu den Messungen im Vergleich zu den bisherigen LOS-Ansätzen im Luftreinhalteplan Berlin 2011-2017.

### **Modellierung mit IMMIS<sup>cpb</sup>**

Die Modellierungen mit IMMIS<sup>cpb</sup> und entsprechenden Ergebnisse gliedern sich zum einen in einer Auswertung von stündlichen Modell- und Messdaten für die Frankfurter Allee und die Schildhornstraße sowie zum anderen in die Auswertung der Daten aus den Passivsammlern für alle fünf Abschnitte.

Als LOS-Daten wurden die stündlichen Verkehrsdaten der VMZ mit der LOS-Bestimmung aus den FCD-Daten verwendet.

Bei dem hier angestellten Vergleich von zeitlich höher aufgelösten Modell- und Messdaten muss beachtet werden, dass die gemessenen Verkehrsdaten aus dem Bezugsjahr 2015 stammen und die Daten zur Meteorologie und zur Luftschadstoffbelastung aus dem Jahr 2014. Um zu mindestens die damit verbundene Verschiebung der Wochentage bei den Verkehrsgängen auszugleichen, wurden die Verkehrsdaten entsprechend um einen Tag ver-

schoben. Sonstige Einflüsse auf die Verkehrsstärken, wie Feiertage, Ferien oder auch die Umstellung auf Sommer- bzw. Winterzeit, werden so nicht korrigiert.

In Tabelle 7 und Tabelle 8 sind die gemessenen und mit IMMIS<sup>cpb</sup> modellierten NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Jahresmittewerte und die Abweichungen des Modellwerts vom Messwert aufgeführt.

Abweichungen bei den Messwerten zu Tabelle 5 und zu Tabelle 6 sind möglich, da die Mittelwerte aus den Zeitreihen gebildet wurden, wenn sowohl Mess- wie auch Modelldaten vorhanden waren und nicht wie in Tabelle 2 1 aus dem Jahresbericht übernommen wurden.

Name	Code	Messung [µg/m <sup>3</sup> ]	Modell [µg/m <sup>3</sup> ]	Abweichung*
Schildhornstr.	117/521	48,1/47,8	43,8	-8,5%
Leipziger Str.	525	69,5	65,2	-6,1%
Potsdamer Str.	505	60,0	49,5	-17,4%
Hauptstr.	530	57,0	49,5	-13,2%
Frankfurter Allee	174/519	40,6/41,1	46,4	14,2%
*zu den Passivsammlermessungen				

Tabelle 7: Mess- und Modellwerte für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 2014

Name	Code	Messung [µg/m <sup>3</sup> ]	Modell [µg/m <sup>3</sup> ]	Abweichung
Schildhornstr.	117/521	104,6/93,3	86,2	-7,8%
Leipziger Str.	525	176,9	153,9	-13,0%
Potsdamer Str.	505	134,4	100,0	-25,6%
Hauptstr.	530	124,7	101,8	-18,4%
Frankfurter Allee	174/519	87,0/81,5	92,5	13,5%

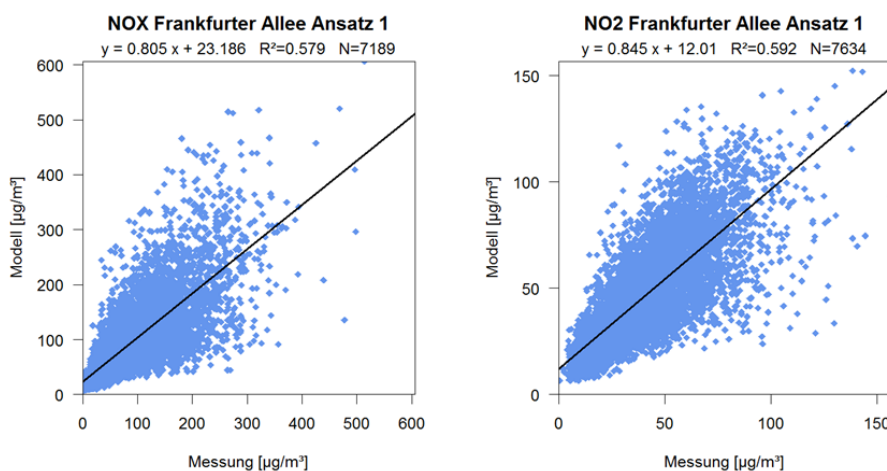
Tabelle 8: Mess- und Modellwerte für den NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwert 2014

## Vergleich von stündliche Daten

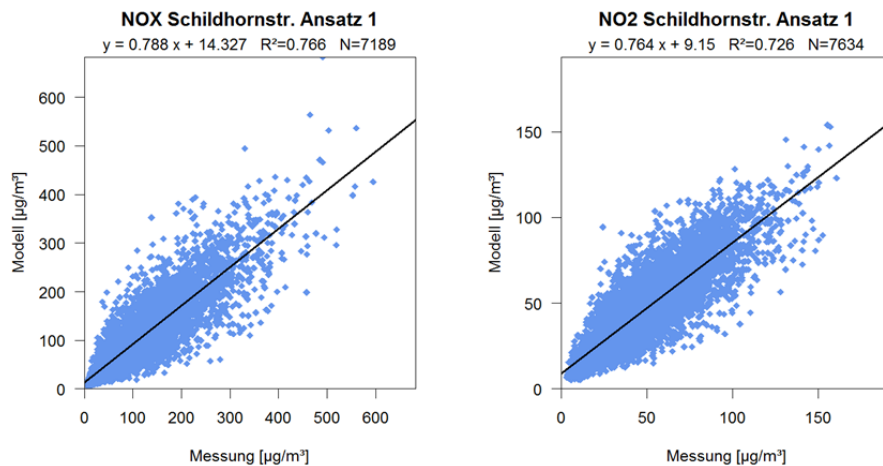
Der Vergleich der stündlichen Modellwerte mit den Messungen erfolgt mittels statistischer Verfahren. Dazu werden mittlere Abweichungen berechnet und paarweise Datenvergleiche in Form von Streudiagrammen erstellt, die mit Regressionsanalysen mit abgeleitetem Erklärungswert  $R^2$  ausgewertet werden.

Da gerade die zeitliche Variation der  $\text{NO}_x$ -/ $\text{NO}_2$ -Konzentration im Straßenraum deutlich mit der Verkehrsmenge und dem Verkehrszustand korreliert, ist eine vergleichende Betrachtung von gemittelten Ganglinien der modellierten mit den gemessenen Konzentrationen sehr aussagekräftig. Dabei werden zum einen die Mittelwerte aller Stunden der einzelnen Wochentage für Modell- und Messwerte gebildet und als Wochenganglinie und die Mittelwert aller Stunden über einen Tag als Tagesganglinie ausgewertet.

Die Streudiagramme in Abbildung 32 und in Abbildung 33 zeigen die Vergleiche der stündlichen CPB-Modelldaten für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  für die Frankfurter Allee und für die Schildhornstraße. Aus der Streuung der Datenpunkte lässt sich für die Schildhornstraße eine deutlich bessere Übereinstimmung von Modell zur Messung als in der Frankfurter Allee erkennen. So liegt der Erklärungswert  $R^2$  mit 76 % bzw. 77 % in der Schildhornstraße auch entsprechend höher als die Werte in Höhe von 58 % bzw. 59 % in der Frankfurter Allee. Obwohl der Mittelwert aller Modellwerte in der Frankfurter Allee über dem Mittelwert der Messung ist, ist die Steigung der Regressionsgerade auch hier, wie in der Schildhornstraße, kleiner als 1.



**Abbildung 32: Streudiagramme des Vergleichs Modell gegen Messung für  $\text{NO}_x$  (links) und  $\text{NO}_2$  (rechts) am Hotspot Frankfurter Allee**



**Abbildung 33: Streudiagramme des Vergleichs Modell gegen Messung für NO<sub>x</sub> (links) und NO<sub>2</sub> (rechts) am Hotspot Schildhornstraße**

Die Vergleiche der Ganglinien in Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen grundsätzlich eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messungen. Betrachtet man aber insbesondere Bereiche, in denen sich die Konfidenzintervalle der Ganglinien nicht überschneiden, fallen einige Besonderheiten auf.

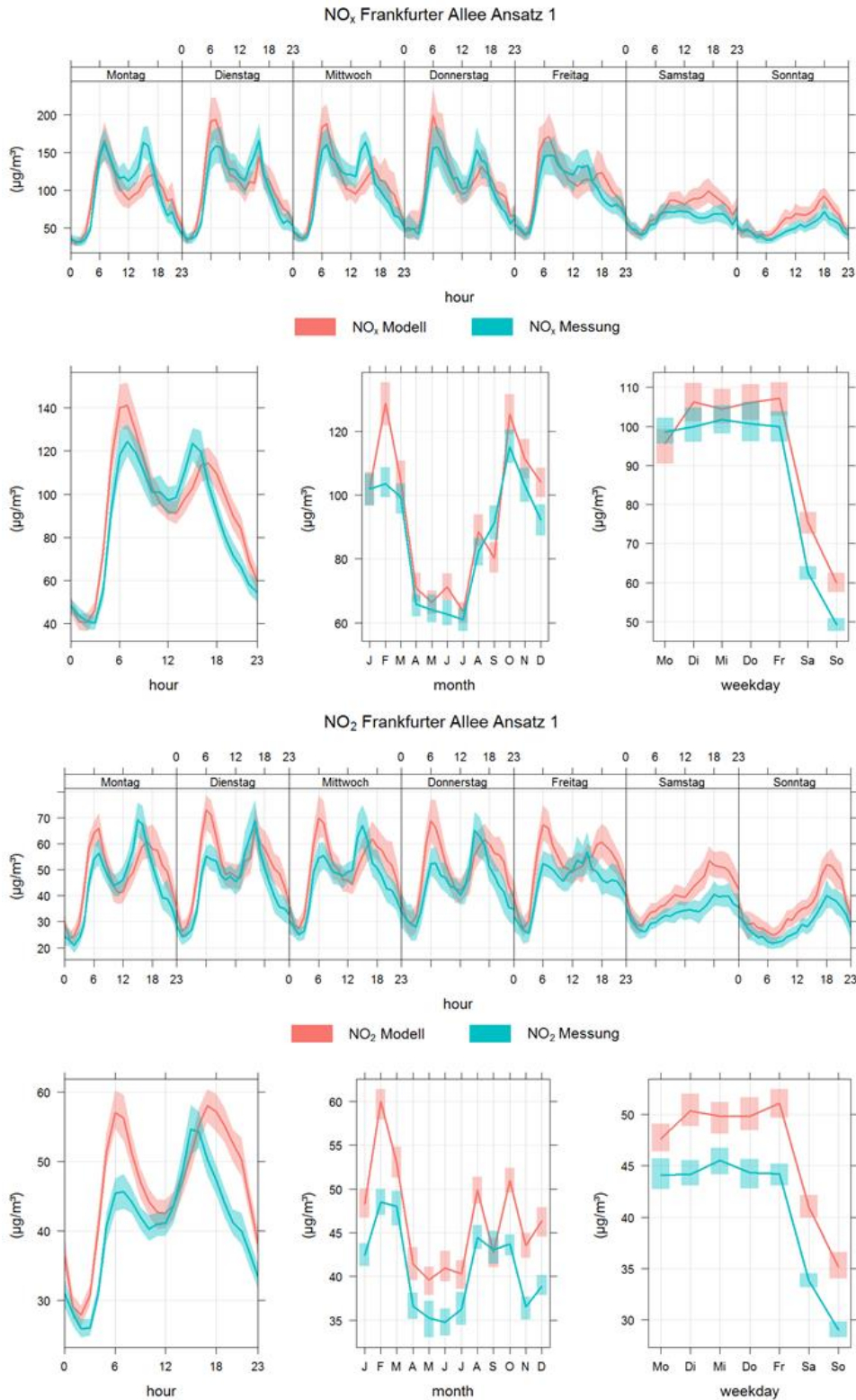
Bei der mittleren Tagesganglinie für NO<sub>x</sub> in der Frankfurter Allee wird eine morgendliche Überschätzung mit einer abendlichen Unterschätzung kombiniert, wobei die abendliche Unterschätzung im Modell gegenüber den Messwerten nach hinten verschoben ist. Im Jahresgang fällt bei ansonsten guter Übereinstimmung der Februar mit einer deutlichen Unterschätzung der Messwert durch das Modell auf.

Bei der mittleren Tagesganglinie für NO<sub>2</sub> in der Frankfurter Allee wird die morgendliche Überschätzung stärker und die abendliche Unterschätzung bei NO<sub>x</sub> kehrt sich in eine leichte Überschätzung bei NO<sub>2</sub> um, bei gleichbleibender Verschiebung der Abendspitze im Vergleich von Modell zu Messung. Im Jahresgang wird die durchgängige Überschätzung deutlich, die sich auch in der Überschätzung des Jahresmittelwerts widerspiegelt.

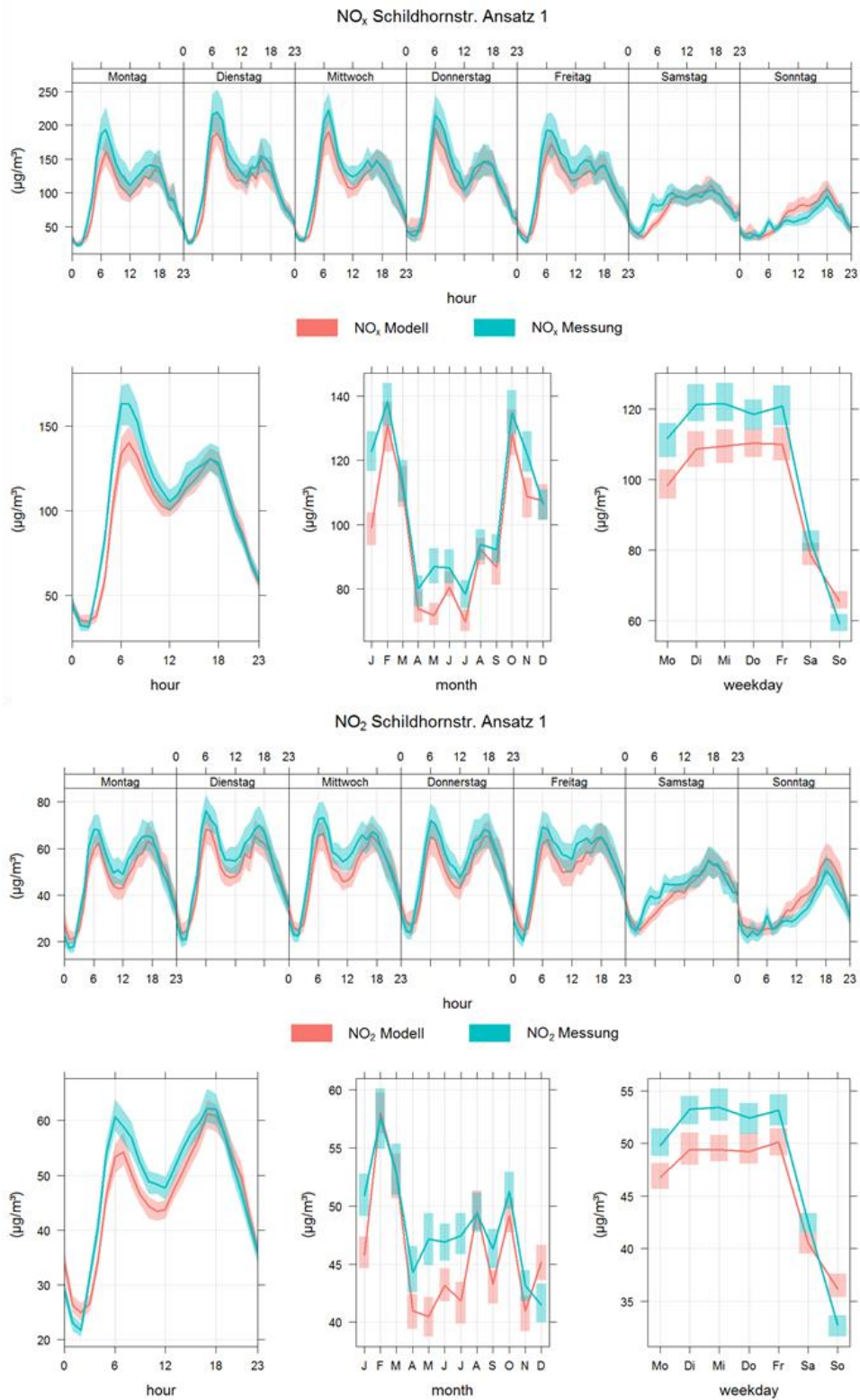
Die Ganglinien der Schildhornstraße zeigen eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen Modell- und Messwerten. Auffällig bei der Tagesganglinie von NO<sub>x</sub> ist die durch das Modell überschätzte Morgenspitze. Bei der NO<sub>2</sub>-Tagesganglinie wird das Morgen-/Abend-Verhältnis deutlich besser wieder gegeben als in der Frankfurter Allee. Im Jahresgang der NO<sub>2</sub>-Belastung in der Schildhornstraße fällt neben der deutlichen Unterschätzung im Januar die andauernde Unterschätzung vom April bis zum Juli auf.

Die zugehörigen Tagesganglinien der Kfz-Verkehrsstärke sind in Abbildung 26 bis Abbildung 29 dargestellt.





**Abbildung 34: Mittlere Ganglinien der Modell- und Messwerte für NO<sub>x</sub> (oben) und NO<sub>2</sub> (unten) in der Frankfurter Allee**

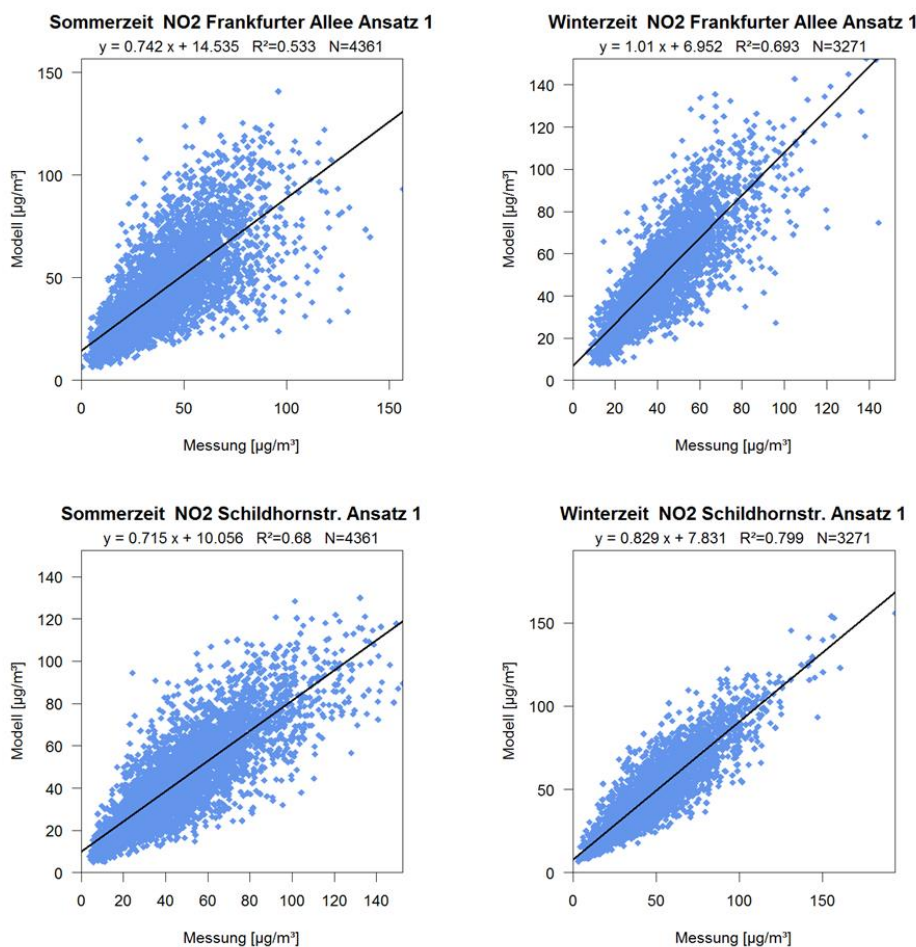


**Abbildung 35: Mittlere Ganglinien der Modell- und Messwerte für NO<sub>x</sub> (oben) und NO<sub>2</sub> (unten) in der Schildhornstraße**

## Problem Sommer

Die bereits in den Ganglinien erkennbaren Auffälligkeiten in der Spitzenverschiebung im Tagesgang und im Jahresgang im Sommer werden durch eine nach Jahreszeit differenzierten Analyse klarer.

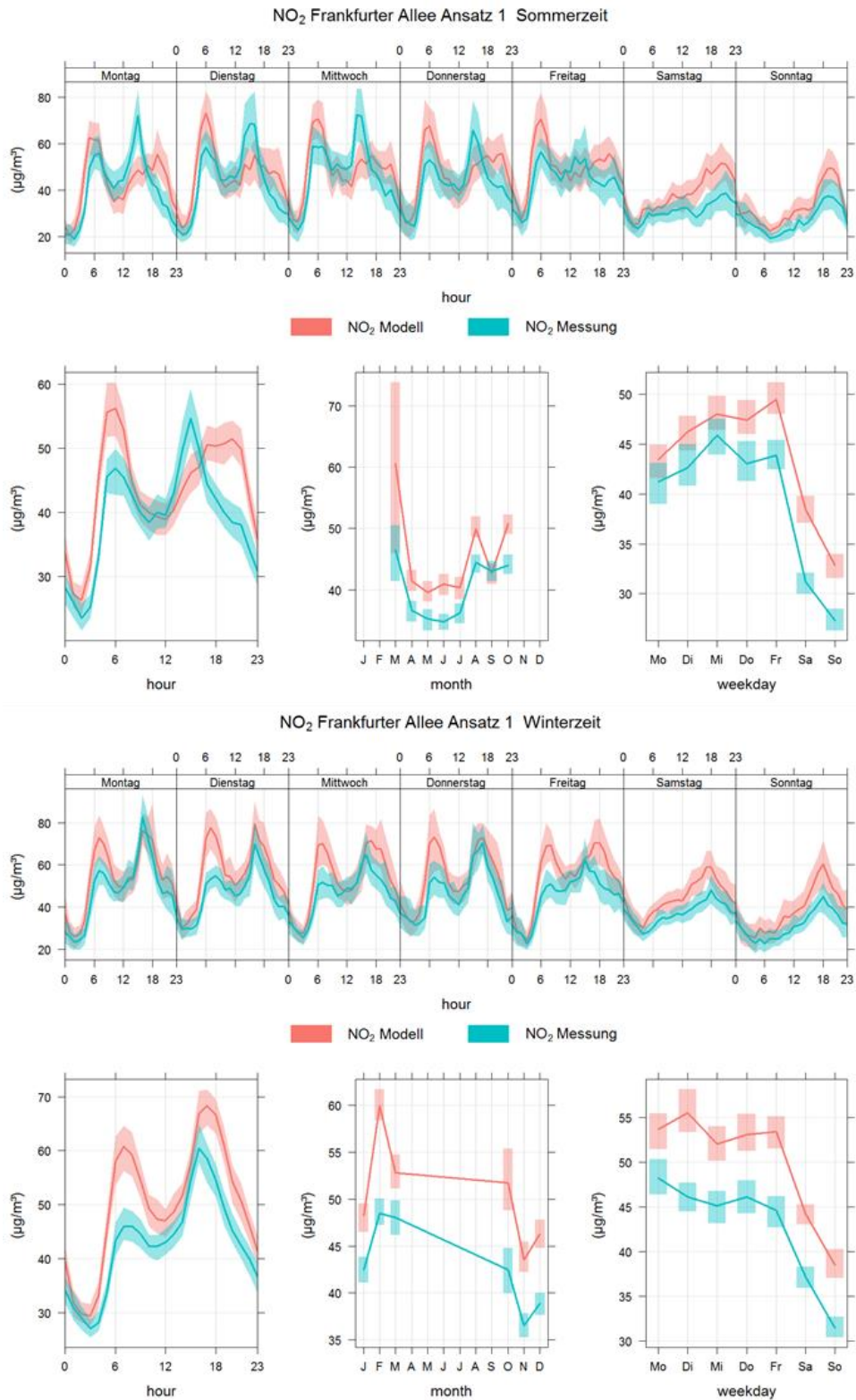
In Abbildung 36 sind die Streudiagramme für die stündlichen NO<sub>2</sub>-Modell- und Messwerte für die Frankfurter Allee und die Schildhornstraße getrennt für das Sommer- und Winterhalbjahr dargestellt. Deutlich erkennbar ist die bessere Übereinstimmung von Modell zur Messung im Winter im Vergleich zum Sommer.



**Abbildung 36: Streudiagramme des Vergleichs Modell gegen Messung für NO<sub>2</sub> am Hot-spot Frankfurter Allee (oben) und Schildhornstraße (unten) für das Sommerhalbjahr (links) und das Winterhalbjahr (rechts)**

In Abbildung 37 sind für die Frankfurter Allee die Ganglinien für NO<sub>2</sub> ebenfalls getrennt für das Sommer- und Winterhalbjahr dargestellt. Hier ist zum einen erkennbar, dass im Sommer das Abend-Maximum im Modell verbreitert ist und später als in den Messungen auftritt. Hier muss noch mal darauf hingewiesen werden, dass die Bezugsjahre der Verkehrsdaten und der

meteorologisch bedingten Daten nicht identisch sind und zur Korrektur nur eine Verschiebung der Verkehrsdaten um einen Tag erfolgte (siehe oben).



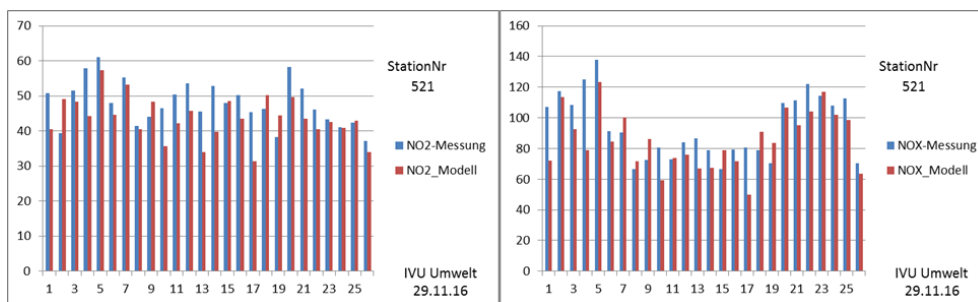
**Abbildung 37: Mittlere Ganglinien der Modell- und Messwerte für NO<sub>2</sub> in der Frankfurter Allee im Sommerhalbjahr (oben) und im Winterhalbjahr (unten)**



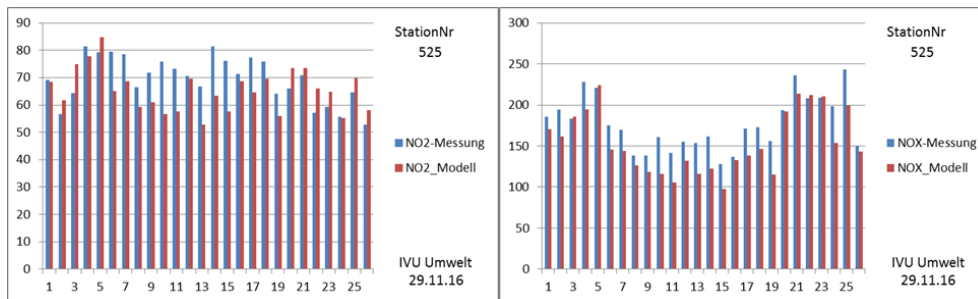
### Vergleich mit Passivsammlern

In Abbildung 38 bis Abbildung 42 sind die modellierten 2-Wochen-Mittelwerten den entsprechenden Mittelwerten der Passivsammler an den fünf ausgewählten Abschnitten gegenübergestellt.

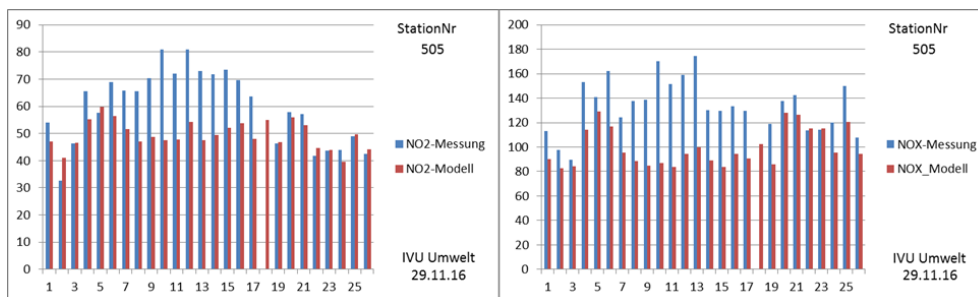
Sowohl in der Schildhornstraße wie auch in der Leipziger Straße ist eine gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messung erkennbar. In der Potsdamer Straße und in der Hauptstraße sind die auffallend hohen gemessenen Konzentrationen in den Frühsommer und Sommermonaten erkennbar, die durch das Modell nicht wiedergegeben werden. In der Frankfurter Allee steht der recht guten Übereinstimmung in den Sommermonaten eine erkennbare Überschätzung in den Wintermonaten gegenüber.



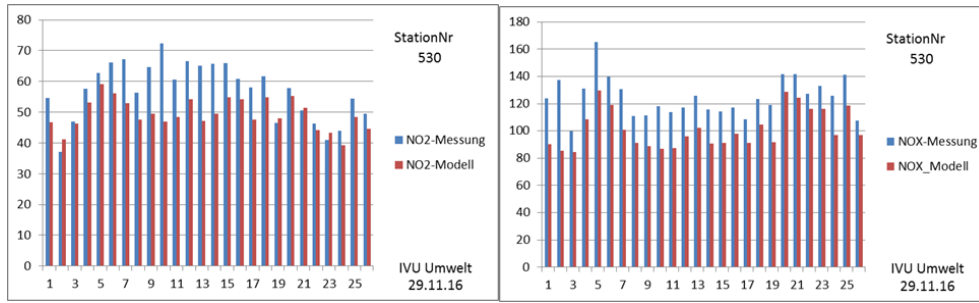
**Abbildung 38: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> in µg/m<sup>3</sup> in der Schildhornstraße**



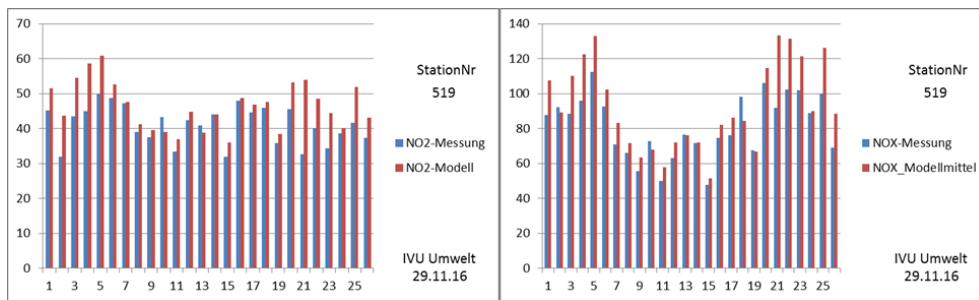
**Abbildung 39: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> in µg/m<sup>3</sup> in der Leipziger Straße**



**Abbildung 40: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> in µg/m<sup>3</sup> in der Potsdamer Straße**



**Abbildung 41: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> in µg/m<sup>3</sup> in der Hauptstraße**



**Abbildung 42: Vergleich der Modell- und Messwerte aus den Passivsammlern für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> in µg/m<sup>3</sup> in der Frankfurter Allee**

## Anhang 2: Kartenband

- Karte 1: Hauptverkehrsstraßennetz, Verkehrslagenetz und DTV
- Karte 2: Netzkategorisierung nach HBEFA-Gebiets- und -Straßentyp
- Karte 3: Zulässige Höchstgeschwindigkeit nach HBEFA
- Karte 4: Abweichende HBEFA-Straßentypen und zulässige Höchstgeschwindigkeiten
- Karte 5: Jahresfahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „flüssig“
- Karte 6: Jahresfahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „dicht“
- Karte 7: Jahresfahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „gesättigt“
- Karte 8: Jahresfahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „Stop+Go“
- Karte 9: Fahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „Stop+Go“ für den Tagestyp Montag–Donnerstag, 6-9 Uhr
- Karte 10: Fahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „Stop+Go“ für den Tagestyp Montag–Donnerstag, 15-18 Uhr
- Karte 11: Kalibrierte HBEFA-Netzkapazitäten auf dem VIZ-Verkehrslagenetz (BAB)
- Karte 12: Kalibrierte HBEFA-Netzkapazitäten auf dem VIZ-Verkehrslagenetz (HVS)
- Karte 13: Jahresfahrleistungsanteil HBEFA-Verkehrszustand „Stop+Go“ auf dem gesamten Hauptverkehrsstraßennetz