

Schlussbericht

Weiterentwicklung von IMMIS^{mt} im Rahmen des Projekts "Informationssystem AkLuSt - aktuelle Luftqualität an Straßen"

für die

Senatsverwaltung für Umwelt,
Verkehr und Klimaschutz (SenUVK)
Berlin

von

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
79110 Freiburg



Schlussbericht

Weiterentwicklung von IMMIS^{mt} im Rahmen des Projekts "Informationssystem AkLuSt - aktuelle Luftqualität an Straßen"

für die

Senatsverwaltung für Umwelt,
Verkehr und Klimaschutz (SenUVK)
Brückenstraße 6
D-10179 Berlin

Bearbeitet von:

Volker Diegmann
Yvonne Breitenbach

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
D-79110 Freiburg
Tel: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 0
Fax: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 12
info@ivu-umwelt.de
www.ivu-umwelt.de

Vorgelegt im Juli 2020

Gefördert durch



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages.
Die Durchführung dieser
Untersuchung erfolgte im
Rahmen der Förderrichtlinie
„Digitalisierung kommunaler
Verkehrssysteme“.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Kurzfassung	6
2	Einführung	8
3	Evaluierung	9
3.1	Datengrundlage	9
3.2	Varianten	10
3.2.1	Auswertung der bestehenden Datenbasis aus dem Monitoring (Archiv)	10
3.2.2	Nachberechnung mit Aktualisierung der Verkehrsdaten (Referenzfall)	10
3.2.3	Korrektur der Ermittlung der urbanen Vorbelastung (Korrektur Vorbelastung)	10
3.2.4	Aktualisierung mit Daten aus den Modellierungen für den Berliner Luftreinhalteplan (Aktualisierung mit LRP Berlin)	11
3.2.5	Aktualisierung von Ganglinien im urbanen Emissionskataster	11
3.2.6	Neuberechnung mit HBEFA 4.1	11
3.3	Methoden der Evaluierung	12
3.3.1	Jahresmittelwerte	12
3.3.2	Scatterplots	13
3.3.3	Ganglinien	13
4	Vergleich der Varianten	15
4.1	Vergleich Archiv mit Referenzfall	15
4.2	Anpassungen der Vorbelastung und regionalisierte Flotte	19
4.2.1	Vergleich der Varianten	19
4.2.2	Untersuchungen zeitlich hoch aufgelöster Quellanteile an der urbanen Vorbelastung	20
4.3	Neuberechnung mit HBEFA 4.1 im Vergleich zum Referenzfall	26
4.3.1	NO _x	26
4.3.2	NO ₂	28
4.3.3	PM10	35
5	Ausblick	39

Anhang 1 **Vollständige Auswertungen für alle 5 Hotspots und Varianten**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1:	Vergleich der stündlichen modellierten NO ₂ -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018	7
Abbildung 3-1:	Verfügbarkeit der modellierten NO ₂ -Immissionen des IMMIS ^{mt} -Kontrollsystems im Archiv Jahr 2018	9
Abbildung 3-2:	Vergleich der gemessenen und modellierten NO ₂ -Stundenwerte 2018 als Scatterplot am Hotspot Frankfurter Allee	13

Abbildung 3-3:	Wochen-, Tages-, Jahres- und Wochentagsganglinien der gemessenen und modellierten NO ₂ -Immissionen 2018 am Hotspot Frankfurter Allee aus der Variante Archiv	14
Abbildung 4-1:	Vergleich der stündlichen modellierten NO _x -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot für die Varianten Archivdaten und Referenzfall	17
Abbildung 4-2:	Vergleich der Ganglinien für NO _x für die Frankfurter Allee für die Varianten Archivdaten und Referenzfall	18
Abbildung 4-3:	Ganglinien für NO ₂ für die Frankfurter Allee für den Referenzfall	19
Abbildung 4-4:	Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO _x -Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 10 für die ersten 100 Tage und das ganze Jahr	21
Abbildung 4-5:	Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO _x -Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 18 für die ersten 100 Tage und das ganze Jahr	22
Abbildung 4-6:	Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO _x -Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 42 für die ersten 100 Tage und das ganze Jahr	23
Abbildung 4-7:	Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO _x -Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 171 für die ersten 100 Tage und das ganze Jahr	24
Abbildung 4-8:	Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO _x -Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 282 für die ersten 100 Tage und das ganze Jahr	25
Abbildung 4-9:	Vergleich der stündlichen modellierten NO _x -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018	28
Abbildung 4-10:	Vergleich der stündlichen modellierten NO _x -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an der Schildhornstraße für das Jahr 2018 mit HBEFA 4.1 und T50 rechts und T30 links	28
Abbildung 4-11:	Vergleich der stündlichen modellierten NO ₂ -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018	30
Abbildung 4-12:	Vergleich der stündlichen modellierten NO ₂ -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an der Schildhornstraße für das Jahr 2018 mit HBEFA 4.1 und T50 rechts und T30 links	31
Abbildung 4-13:	Vergleich der Ganglinien für NO ₂ für die Frankfurter Allee für den Referenzfall und die Neuberechnung mit HBEFA 4.1	32
Abbildung 4-14:	Vergleich der Ganglinien für NO ₂ für den Mariendorfer Damm für den Referenzfall und die Neuberechnung mit HBEFA 4.1	33
Abbildung 4-15:	Vergleich der Ganglinien für NO ₂ für die Schildhornstr. für den Referenzfall und die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 T50	34
Abbildung 4-16:	Ganglinien für NO ₂ für die Schildhornstr. für die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 mit Tempo 30	35
Abbildung 4-17:	Vergleich der stündlichen modellierten PM ₁₀ -Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen	

	Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018	37
Abbildung 4-18:	Vergleich der Tagesmittelwerte der modellierten PM10-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018	38

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1:	Gemessene und modellierte NO ₂ -Jahresmittelwerte 2018 aus der Variante Nachberechnung Archiv	12
Tabelle 4-1:	Vergleich der NO _x -Jahreskenngößen für die Varianten Archivdaten und Referenzfall	15
Tabelle 4-2:	Vergleich der NO ₂ -Jahreskenngößen für die Varianten Archivdaten und Referenzfall	16
Tabelle 4-3:	Vergleich der NO _x -Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall, Korrektur Vorbelastung, Aktualisierung mit LRP Berlin und Anpassung der Ganglinien	20
Tabelle 4-4:	Vergleich der NO _x -Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall und Neuberechnung mit HBEFA 4.1	27
Tabelle 4-5:	Vergleich der NO ₂ -Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall und Neuberechnung mit HBEFA 4.1	29
Tabelle 4-6:	Vergleich der PM10-Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall und Neuberechnung HBEFA 4.1	35

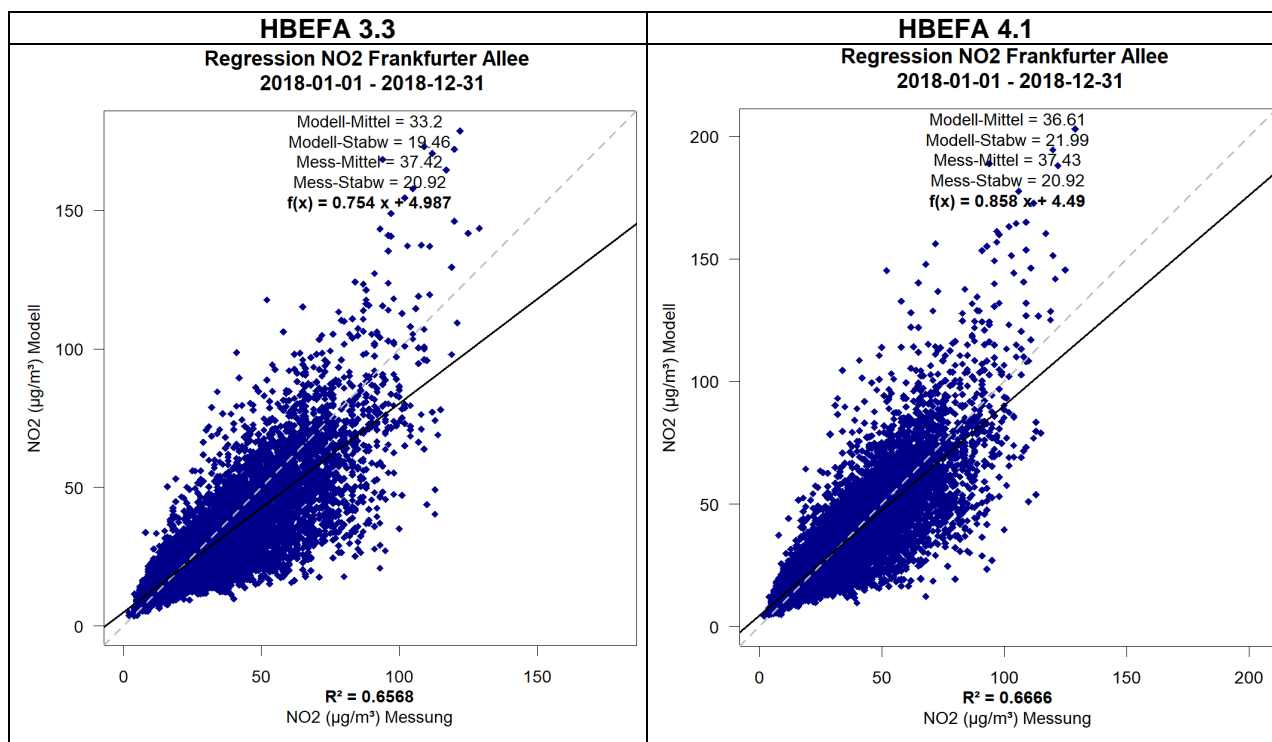
1 Kurzfassung

Durch das Projekt "Informationssystem AKLuSt - aktuelle Luftqualität an Straßen" welches im Rahmen der Förderrichtlinie „Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme“ des Sofortprogramms „Saubere Luft 2017-2020“ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert wurde, ist das Umweltmonitoringsystem IMMIS^{mt} weiterentwickelt und auf eine neue Datengrundlage aktualisiert worden.

Neben der mit diesem Bericht vorgelegten Evaluierung von der alten und der neuen IMMIS^{mt}-Version wurde die bei der VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH vorhandene IMMIS^{mt}-Version aktualisiert. Das aktualisierte Modell stellt Daten für ein digitales Informationssystem zur aktuellen Luftqualität an Hauptverkehrsstraßen bereit. Die Bereitstellung der Daten im Internet und über eine App erfolgt durch die VMZ Berlin GmbH.

Die wesentliche Aktualisierung betraf den Austausch der Datengrundlage für die Emissionsfaktoren des Kfz-Verkehrs, in dem das bestehende HBEFA 3.3 gegen das neue HBEFA 4.1 ersetzt wurde. Die folgenden Abbildungen zeigen als Ergebnis dieser Aktualisierung den Vergleich der stündlichen modellierten NO₂-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018 für die Berechnungen auf Grundlage HBEFA 3.3 und HBEFA 4.1.

In allen Fällen erhöht sich mit dem HBEFA 4.1 das Niveau der modellierten NO₂-Konzentrationen. Damit liegen jetzt die modellierten und gemessenen Jahresmittelwerte deutlich dichter beieinander und die Steigung der Regressionsgeraden dichter beim Wert 1. Der Korrelationswert R² ändert sich im Vergleich nur geringfügig. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in der hier durchgeführten Modellierung mit dem HBEFA 4.1 noch keine aktualisierte Ermittlung der neuen LOS-Stufen, wie sie im neuen HBEFA implementiert wurden, berücksichtigt wurde.



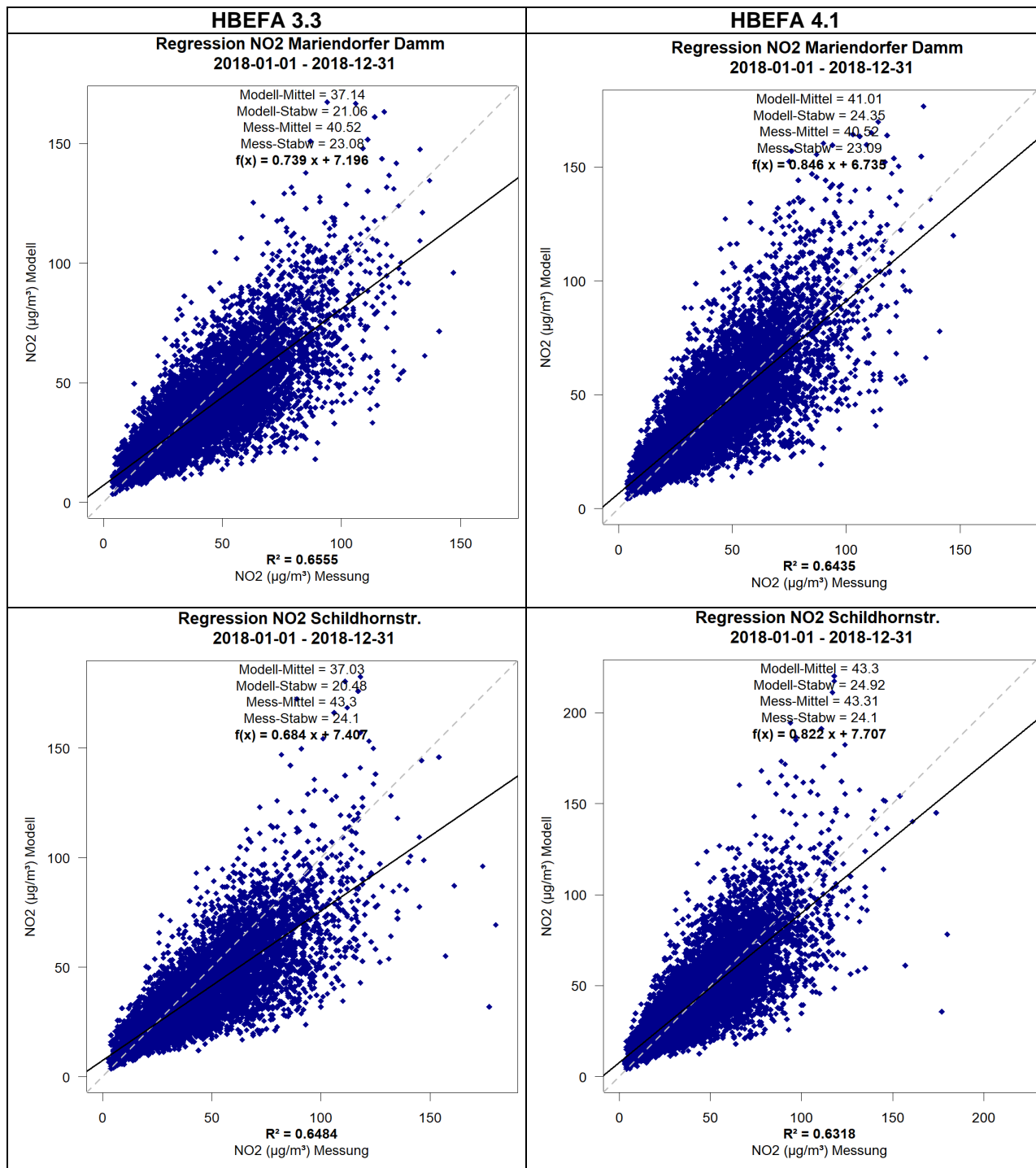


Abbildung 1-1: Vergleich der stündlichen modellierten NO₂-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018

2 Einführung

Mit dem Vorhaben zum Aufbau eines "Informationssystem AkLuSt - aktuelle Luftqualität an Straßen" wurde eine Aktualisierung des Umweltmonitoringsystems IMMIS^{mt} durchgeführt.

Zur Evaluierung der Modellqualität, werden die von IMMIS^{mt} modellierten Immissionen des bestehenden und des aktualisierten Systems jeweils mit Messdaten der Berliner Luftgütemessstationen verglichen.

In diesem Bericht wird zunächst das Vorgehen zur Evaluierung erläutert und die vorhandene Datenbasis analysiert. Basierend auf den archivierten Daten des laufenden Monitorings wird die Modellqualität für das bestehende IMMIS^{mt}-System für die fünf Berliner Hotspots mit kontinuierlichen Messsystemen exemplarisch für NO₂ ausgewertet.

Abschließend wird weiterhin bestehender Aktualisierungsbedarf von IMMIS^{mt} diskutiert.

3 Evaluierung

3.1 Datengrundlage

Für eine Evaluierung der Modellqualität, wurden die von IMMIS^{mt} modellierten Immissionen des Archivs mit den Messdaten der Berliner Luftgütemessstationen für das Bezugsjahr 2018 verglichen. Mit dem im Rahmen dieses Projekts aktualisierten IMMIS^{mt}-System werden im Weiteren für dasselbe Bezugsjahr die Immissionen erneut modelliert, so dass ein Vergleich der Evaluierungen zwischen dem bisherigen und dem aktualisierten IMMIS^{mt} möglich ist.

Als Evaluierungszeitraum wird das Jahr 2018 betrachtet. Die Daten stammen aus dem Archiv des bei der IVU Umwelt GmbH betriebenen Kontrollsystems.

In Abbildung 3-1 ist am Beispiel der modellierten NO₂-Immissionen die Verfügbarkeit je Monat des Jahres 2018 für jeden der fünf betrachteten Hotspots (Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm, Schildhornstraße, Karl-Marx-Straße, Silbersteinstraße) dargestellt. Von März bis einschließlich Juni gibt es größere Datenlücken, da in diesem Zeitraum die Messdaten der Berliner Luftmessstationen der Hintergrundstationen häufiger im Onlinebetrieb nicht verfügbar waren.

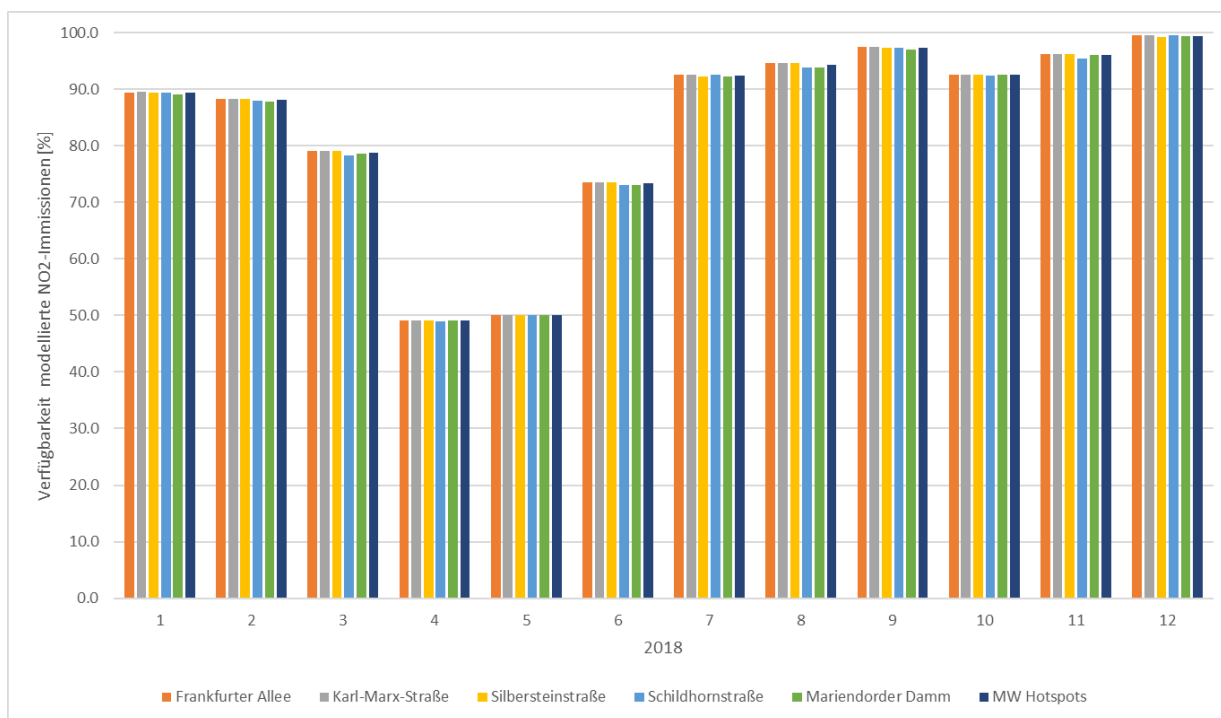


Abbildung 3-1: Verfügbarkeit der modellierten NO₂-Immissionen des IMMIS^{mt}-Kontrollsystems im Archiv Jahr 2018

Die Daten aus dem Monitoring basieren in den ersten 2 Monaten des Jahres 2018 noch auf der Emissionsberechnung nach HBEFA 3.1, da die Umstellung auf HBEFA 3.3 erst Ende Februar erfolgt ist.

Um für die Evaluierungen, die im Rahmen dieses Projekts durchgeführt werden sollen, eine ausreichend hohe Datenverfügbarkeit zu haben, werden die Immissionen für das erste Halbjahr 2018 nachberechnet. Dabei werden für die Monate Januar und Februar die Immissionen dann auch basierend auf dem HBEFA 3.3 modelliert.

Die für die Nachmodellierung fehlenden Messdaten der Luftmessdaten wurden von der Webseite <https://luftdaten.berlin.de/lqi> heruntergeladen und die erforderlichen Verkehrsdaten bei der VMZ angefragt.

Die Evaluierungen werden für alle 5 Stationen durchgeführt. Im Hauptteil dieses Berichts werden nur die drei Hotspots Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm, Schildhornstraße diskutiert, da für diese Hotspots die Geometrie- und Messbedingungen mehr mit den Rahmenbedingungen der Modellierungen und den Messvorschriften der BImSchV genügen. Die Daten der Evaluierungen aller Hotspots und Varianten der Berechnungen werden im Anhang zusammengestellt.

3.2 Varianten

Um die Qualität der Modellierung zielgerichtet zu verbessern und auch bereits im Vorfeld der Veröffentlichung des HBEFA 4.1 Modellanpassungen vornehmen zu können, wurden verschiedene Varianten der Modellierungen durchgeführt, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

3.2.1 Auswertung der bestehenden Datenbasis aus dem Monitoring (Archiv)

Die erste Auswertung beinhaltete keine Anpassungen an den im Kontrollsystem archivierte Daten. Diese Variante ist damit grundsätzlich identisch zu den Online-Berechnungen, wie sie im bestehenden System der VMZ im Jahr 2018 durchgeführt wurden. Die vorhandene Datenbasis ist bereits in Kapitel 3.1 beschrieben. Die Auswertungen finden sich in Kapitel 4.1.

3.2.2 Nachberechnung mit Aktualisierung der Verkehrsdaten (Referenzfall)

Um die Datenbasis der Evaluierungen zu erhöhen und im Nachgang festgestellte fehlerhafte Verkehrsdaten zu korrigieren wurden von der VMZ neue und möglichst vollständige Verkehrsdaten für das erste Halbjahr 2018 zur Verfügung gestellt und damit das Archiv aktualisiert. Damit wurde für das erste Halbjahr eine Neuberechnung mit dem HBEFA 3.3 durchgeführt, so dass eine annähernd vollständige einheitliche Datengrundlage vorliegt, die als Referenz für die Vergleich der weiteren Evaluierungen herangezogen wurde. Die Auswertungen für die Variante finden sich in Kapitel 4.1.

3.2.3 Korrektur der Ermittlung der urbanen Vorbelastung (Korrektur Vorbelastung)

Bei der Evaluierung des Referenzfalls und im Vorfeld der Integration des Berliner Emissionskatasters aus dem aktuellen Luftreinhalteplan ist festgestellt worden, dass im bestehenden Monitoringsystem die Ermittlung der urbanen Vorbelastung fehlerhaft implementiert war. Das führt dazu, dass im bestehenden System nur die Emissionen des Kfz-Verkehrs auf dem Hauptstraßennetz korrekt verwendet wurden und die anderen Quellen, mehr oder minder keine Berücksichtigung fanden. Dieser Fehler wurde korrigiert und eine Neuberechnung auf der Basis des Referenzfalls durchgeführt.

3.2.4 Aktualisierung mit Daten aus den Modellierungen für den Berliner Luftreinhalteplan (Aktualisierung mit LRP Berlin)

Im Rahmen der Modellierungen für die 2. Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans¹ wurde für die Ausbreitungsrechnungen zur Bestimmung des Anteils der urbanen Vorbelastung ein umfassendes Emissionskataster aufgebaut. Es liegen daraus Emissionskatasterdaten zur Ist-Situation 2015 und prognostizierte Daten für 2020 vor. Für die Prognose 2020 gab es nochmals zwei Varianten, die sich durch die Emissionen aus Flughäfen unterscheiden.

In Abstimmung mit der Senatsverwaltung wurde festgelegt, dass für das Monitoring die Prognose 2020 in der Variante 1 mit geöffneten Flughäfen Schönefeld und Tegel verwendet werden sollen.

Zusätzlich wurde aus IVU Umwelt (2020) die auf Kennzeichenerfassung basierende Kfz-Flotte aus 2015 mit Angaben des HBEFA 3.3 auf 2018 fortgeschrieben und in IMMIS^{mt} hinterlegt.

Diese Änderungen wurden in die Variante „Korrektur Vorbelastung“ integriert und die Berechnungen erneut durchgeführt.

3.2.5 Aktualisierung von Ganglinien im urbanen Emissionskataster

Die Evaluation der Variante „Aktualisierung mit LRP Berlin“ zeigt im Vergleich zum Referenzfall, dass eine Verschlechterung der Modellqualität z.B. in Form eines verminderten Erklärungswerts R^2 erzielt wird. Als Ursache dafür wurde die unzureichende Berechnung der urbanen Vorbelastung identifiziert. Um die Methodik der Berechnung der urbanen Vorbelastung zu verbessern wurden die bisher statisch im System hinterlegten Ganglinien der einzelnen Quellverursacher als eigenständige Eingangsdaten offengelegt und auf die in IVU Umwelt (2020) verwendeten Ganglinien angepasst. Für diese Berechnungsmethode wurde parallel eine Wiederholung der Berechnungen zur 2. Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans durchgeführt und dabei die Ergebnisse der IMMIS^{net}-Berechnungen als stündliche Zeitreihen an den innerstädtischen Hintergrundstationen ausgegeben und ausgewertet.

Mit dem Ergebnis dieser Auswertung wurde entschieden, für die abschließende Variante, der Neuberechnung mit HBEFA 4.1, die urbane Vorbelastung nur aus den Emissionsdaten des Kfz-Verkehrs auf den Hauptverkehrsstraßen zu verwenden. Dieses Vorgehen entspricht damit im Prinzip der Berechnungsmethode, wie sie im aktuell noch laufenden System und im Referenzfall hinsichtlich der urbanen Vorbelastung zur Anwendung kommt.

3.2.6 Neuberechnung mit HBEFA 4.1

Für die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 wurde die Datengrundlage des Referenzfalls verwendet. Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben wurde die Ermittlung der Vorbelastung und damit auch die Ermittlung des regionalen Hintergrunds nur unter Berücksichtigung der Emissionen des Kfz-Verkehrs auf dem Hauptstraßennetz durchgeführt.

¹ 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.

Die Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs erfolgte in dieser Variante aber mit dem HBEFA 4.1. Da für diese HBEFA-Version noch keine Berlin-spezifische Flotte vorlag, wurde für die Evaluierung die Standardflotte aus dem HBEFA 4.1 für 2018 verwendet.

Neben der Tatsache, dass im HBEFA 4.1 jetzt auch die Verkehrssituation HVS mit Tempolimit 30 km/h enthalten ist, die jetzt auch in IMMIS^{mt} verwendet wird, wurde eine neue LOS-Stufe 5 als Erweiterung des LOS 4 (Stop&Go) eingeführt und zusätzlich die Abgrenzungen zwischen den LOS-Stufen 2 bis 4 teilweise angepasst. Ein LOS-Klassifizierung des stündlichen Verkehrs liegt von Seiten der VMZ für 2018 nur in der alten Systematik des HBEFA 3.3 vor. In Abstimmung mit der Senatsverwaltung wurde deshalb der Vorschlag der Autoren des HBEFA zur Umsetzung von HBEFA 3.3 auf 4.1 verwendet, der die bestehenden Anteile des LOS 4 im Verhältnis 2:1 auf die LOS-Anteile 4 und 5 aufteilt.

3.3 Methoden der Evaluierung

Für die Evaluierung der Modellergebnisse im Vergleich zu den Messwerten wird ein Auswertetool eingesetzt das spezifisch für die Archivdatenbanken von IMMIS^{mt} unter der Programmierumgebung R von IVU Umwelt entwickelt wurde. Ein Beispiel des Gesamtumfangs der möglichen Auswertungen wird für eine Auswahl von Stationen und Varianten im Anhang mitgeliefert.

Für die hier vorliegende Evaluierung werden drei Auswertungen dokumentiert und bei Relevanz diskutiert. Diese drei Auswertungen werden für alle in Kapitel 3.2 aufgeführten Varianten durchgeführt und im Anhang zur Verfügung gestellt.

3.3.1 Jahresmittelwerte

Die erste Auswertung stellt einen Vergleich der Jahresmittelwerte dar. Ein Beispiel dafür ist in Tabelle 3-1 für die NO₂-Auswertung aus dem Referenzfall aufgeführt. In dieser Auswertung sind die Jahresmittelwerte der Messungen der 5 Hotspotstationen den entsprechenden Modellwerten gegenübergestellt, zusätzlich ist die absolute und relative Abweichung bezogen auf den Messwert und der Erklärungswert R² aus einer Regressionsanalyse angegeben.

Tabelle 3-1: Gemessene und modellierte NO₂-Jahresmittelwerte 2018 aus dem Referenzfall mit HBEFA 3.3

Hotspot	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	37.4	33.2	-4.2	-11%	0.66
Mariendorfer Damm	40.5	37.1	-3.4	-8%	0.66
Schildhornstraße	43.3	37.0	-6.3	-14%	0.65
Silbersteinstraße	48.9	32.1	-16.8	-34%	0.58
Karl-Marx-Straße	44.9	30.3	-14.6	-32%	0.58

3.3.2 Scatterplots

Als zweite Auswertung werden die modellierten Stundenmittelwerte bzw. zusätzlich bei PM10 auch Tagesmittelwerte den Messdaten als Scatterplot gegenübergestellt. Zusätzlich wird im Diagramm eine Regressionsgerade und die Gerade der 1:1-Beziehung eingezeichnet. Als Parameter werden neben den Mittelwerten und Standardabweichungen der Modell- und Messwerte die Funktionsbeschreibung der Regressionsgerade und der Erklärungswert R^2 angegeben.

Ein Beispiel dieser Darstellung für den Hotspot Frankfurter Allee für NO₂ für die Variante Archiv ist in Abbildung 3-2 dargestellt.

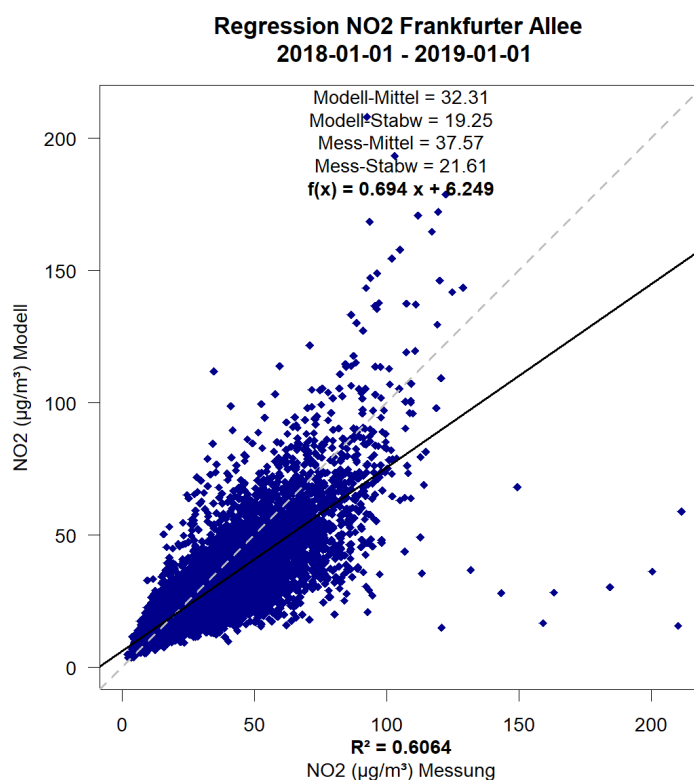


Abbildung 3-2: Vergleich der gemessenen und modellierten NO₂-Stundenwerte 2018 als Scatterplot am Hotspot Frankfurter Allee (Variante Archiv mit HBEFA3.1 bzw. 3.3)

3.3.3 Ganglinien

Als dritte Auswertung werden Wochen-, Tages-, Jahres- und Wochentagsganglinien ausgeführt, wie sie in Abbildung 3-3 beispielhaft für den Hotspot Frankfurter Allee für NO₂ dargestellt Variante Archiv sind. In dieser Darstellung sind die jeweils über die Zeit gemittelten Modellwerte in Blau und Messwerte in Rot dargestellt. Die Breite der Linien bzw. Punkte zeigen das jeweiligen 95 % Konfidenzintervall der jeweiligen Statistik. Bei einer Überlappung der Konfidenzintervalle kann man von einer sehr guten Übereinstimmung von Modell und Messung ausgehen.

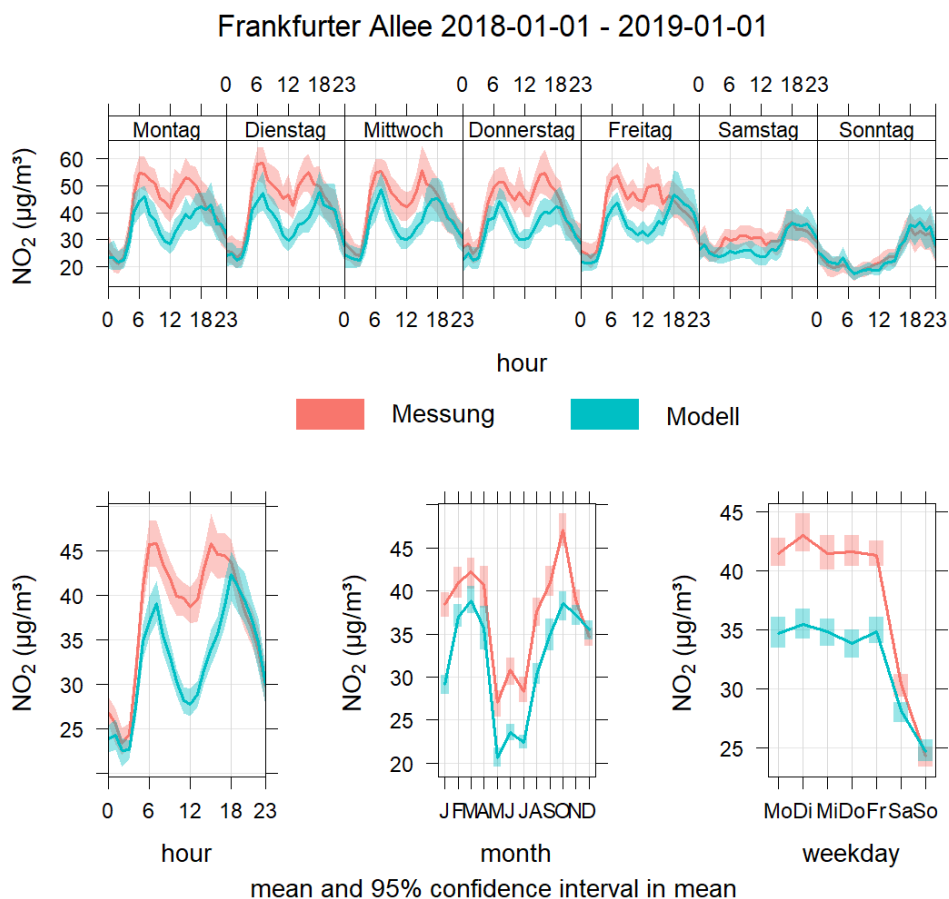


Abbildung 3-3: Wochen-, Tages-, Jahres- und Wochentagsganglinien der gemessenen und modellierten NO₂-Immissionen 2018 am Hotspot Frankfurter Allee aus der Variante Archiv

4 Vergleich der Varianten

4.1 Vergleich Archiv mit Referenzfall

Zunächst wurden die im Rahmen der Monitoring-Berechnungen archivierten modellierten Daten ausgewertet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Januar und Februar die Emissionsmodellierung auf dem HBEFA 3.1 und danach auf HBEFA 3.3 basiert. Nach dem Auffüllen der Archivdatenbank und Korrektur von Verkehrsdaten wurden die Berechnungen vollständig mit dem HBEFA 3.3 wiederholt.

In der Tabelle 4-1 sind Jahreskenngrößen für NO_x der beiden Varianten für die Hotspots gegenübergestellt. Durch die Vergrößerung der Datengrundlage für den Referenzfall ergeben sich auch im Vergleich zu den Archivdaten geänderte Jahresmittelwerte für die Messungen. Bei der Frankfurter Allee ist im Referenzfall die Abweichung vom Modellwert zur Messung sowohl absolut wie auch relativ größer geworden. Bei den beiden anderen Hotspots verändern sich die Abweichungen nur geringfügig. In allen drei Fällen verbessert sich der Erklärungswert R². Diese Verbesserung der Erklärung wird auch aus dem Vergleich der Scatterplots deutlich, der in Abbildung 4-1 dargestellt ist. Hier ist zu erkennen, wie „Ausreißer“ im Modell/Messwert-Vergleich im Referenzfall deutlich geringer auftreten. Insgesamt muss auch für den Referenzfall festgehalten werden, dass das Modell die Messwerte systematisch deutlich mit 29 % bis 32 % unterschätzt.

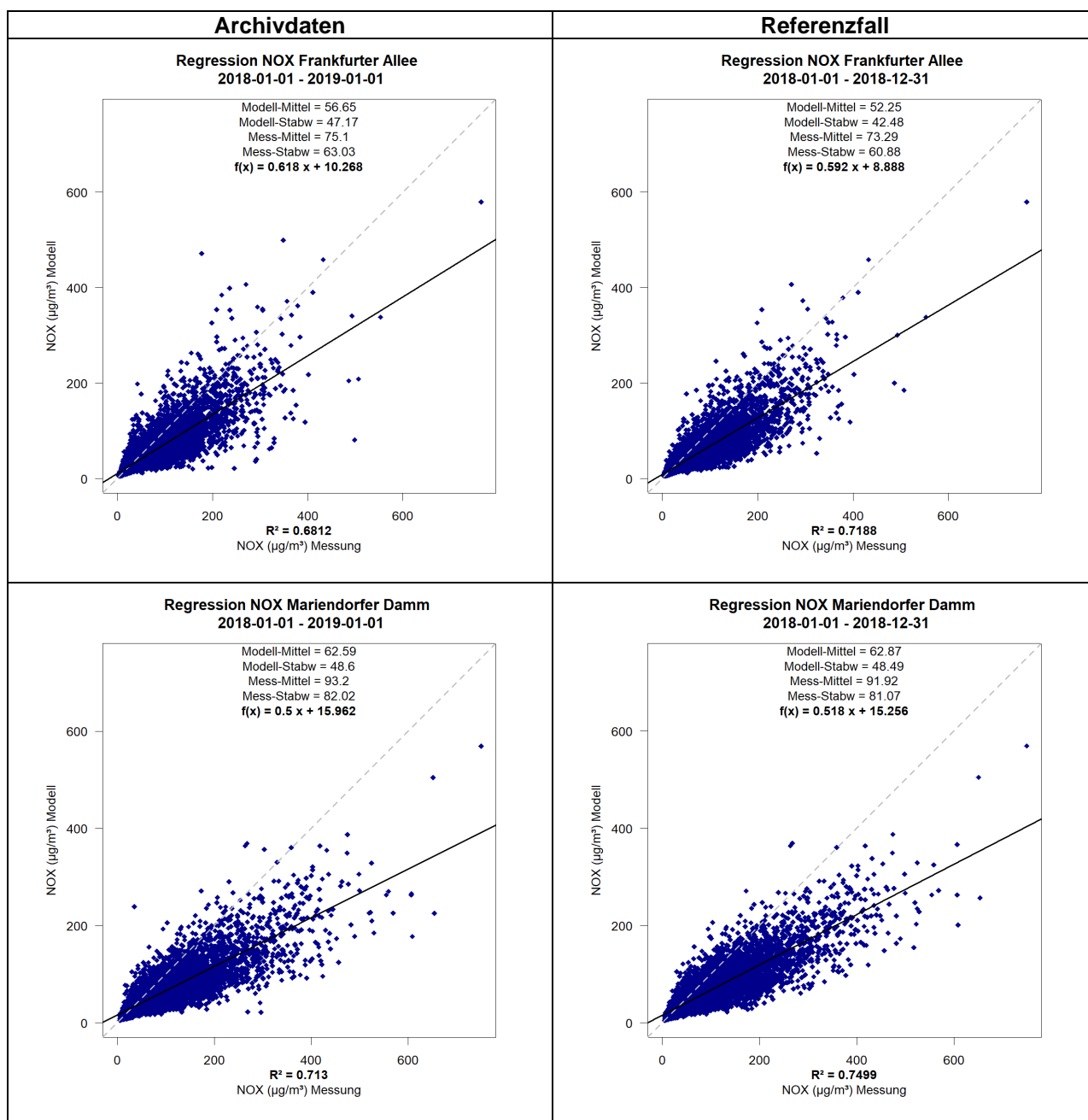
Tabelle 4-1: Vergleich der NO_x-Jahreskenngrößen für die Varianten Archivdaten und Referenzfall

Hotspot	Variante	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	Archiv	75.1	56.7	-18.4	-25%	0.68
	Referenz	73.3	52.3	-21.0	-29%	0.72
Mariendorfer Damm	Archiv	93.2	62.6	-30.6	-33%	0.71
	Referenz	91.9	62.9	-29.1	-32%	0.75
Schildhornstraße	Archiv	89.8	64.9	-24.9	-28%	0.72
	Referenz	88.0	62.2	-25.8	-29%	0.75

In Tabelle 4-2 sind die Jahreskenngrößen für beide Varianten für NO₂ aufgeführt. Hierbei werden ebenfalls die Messwerte in allen Fällen durch die Modellierung unterschätzt. Die Unterschätzung fällt aber deutlich niedriger aus und liegt im Referenzfall zwischen 8 % und 14 %. Die Nachberechnungen im Referenzfall führen sowohl bei der Abweichung wie auch beim Erklärungswert R² zu einer signifikanten Verbesserung im Vergleich zu den Archivdaten.

Tabelle 4-2: Vergleich der NO₂-Jahreskenngößen für die Varianten Archivdaten und Referenzfall

Hotspot	Variante	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	Archiv	37.6	32.3	-5.3	-14%	0.61
	Referenz	37.4	33.2	-4.2	-11%	0.66
Mariendorfer Damm	Archiv	40.5	35.4	-5.1	-13%	0.60
	Referenz	40.5	37.1	-3.4	-8%	0.66
Schildhornstraße	Archiv	43.3	35.4	-7.8	-18%	0.60
	Referenz	43.3	37.0	-6.3	-14%	0.65



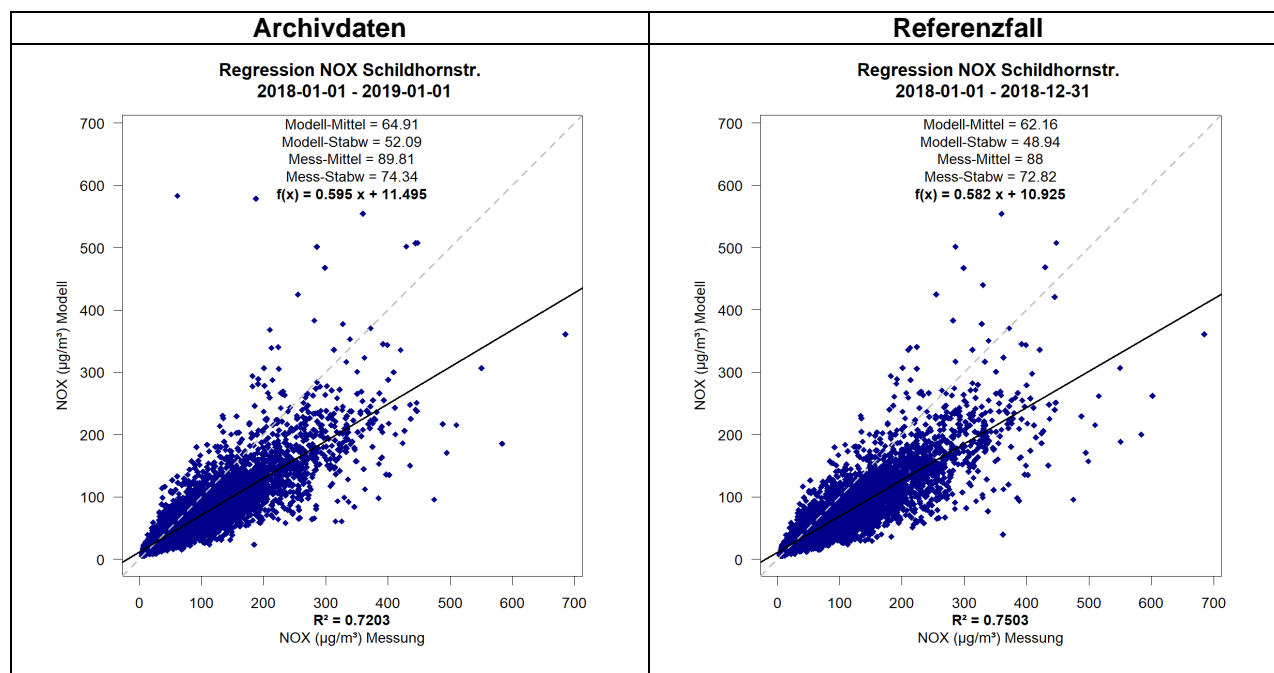


Abbildung 4-1: Vergleich der stündlichen modellierten NO_x-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot für die Varianten Archivdaten (links) und Referenzfall (rechts)

In Abbildung 4-2 sind die Ganglinien für die beiden Varianten für NO_x für die Frankfurter Allee dargestellt. Die deutliche Unterschätzung der Messungen durch die Modellwerte wird hier auch noch mal in allen Darstellungen für beide Varianten deutlich. Insbesondere anhand der Wochenganglinien wird deutlich, dass der an Werktagen deutlich höhere Verkehrsbeitrag, der zu höheren NO_x-Konzentrationen führt, nicht adäquat abgebildet wird. Die Veränderung durch die Nachberechnung im Referenzfall ist im Vergleich der Monatsganglinie erkennbar, wobei bei der Frankfurter Allee durch die Nachberechnung die Abweichung in den ersten Monaten größer wird.

In Abbildung 4-3 ist zusätzlich für den Referenzfall auch die Ganglinie für NO₂ für die Frankfurter Allee dargestellt. Im Vergleich zu den Ganglinien für NO_x ist allgemein erst einmal eine bessere Übereinstimmung von Modell- und Messwerten festzustellen, wie es auch die Auswertung der Jahreskenngößen zeigen. Auffällig ist im Vergleich zwischen den Tagesganglinien von NO_x und NO₂, dass bei NO₂ die Höhe der Vormittags- und Nachmittagsspitzen in der Modellierung umgekehrt sind als in den Messungen. Bei beiden Kenngößen scheinen die Nachmittagsspitzen in der Modellierung später einzutreten als in der Messung, wobei dieses Verhalten bei NO₂ noch deutlicher ausgeprägt ist als bei NO_x.

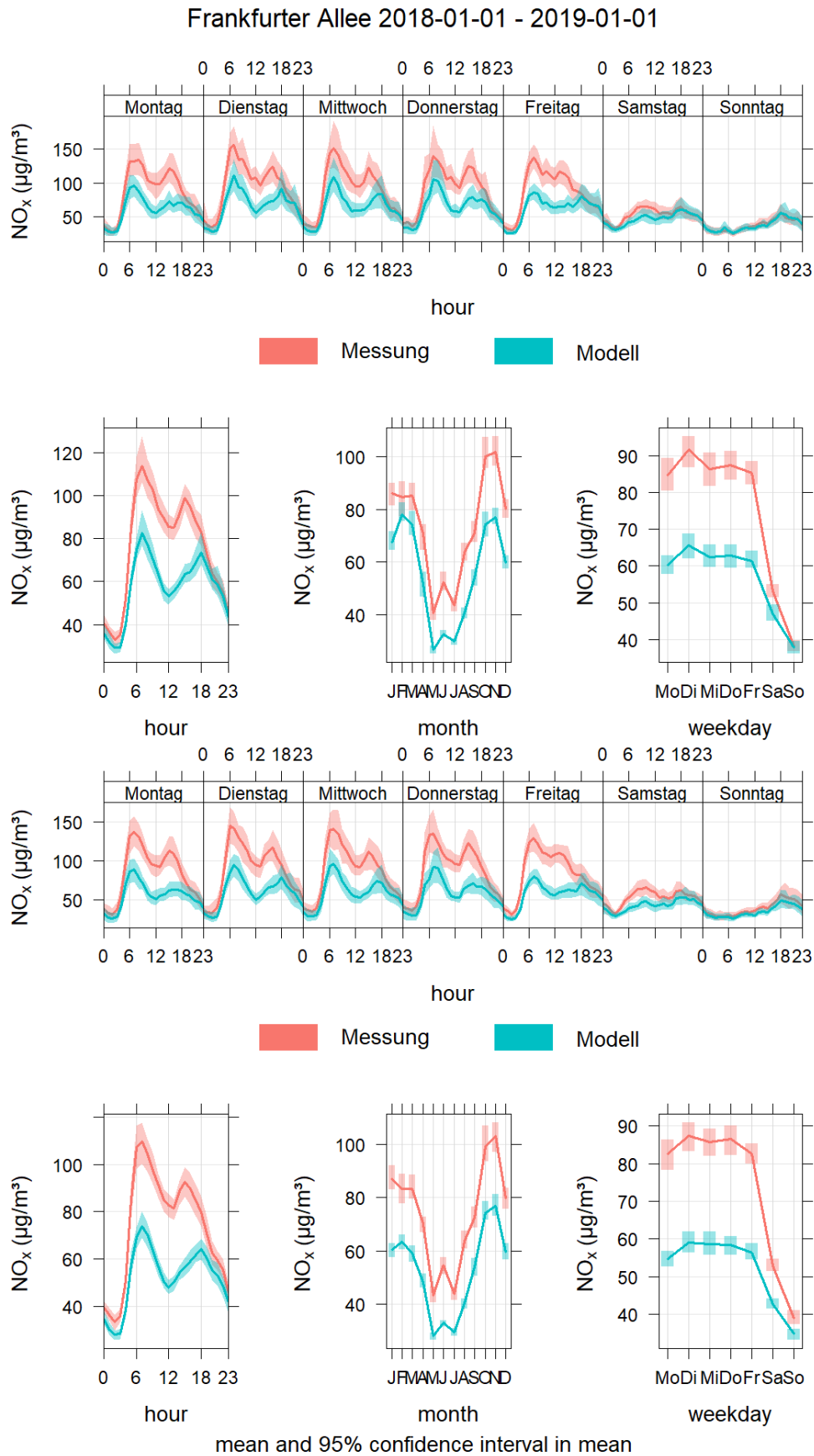


Abbildung 4-2: Vergleich der Ganglinien für NO_x für die Frankfurter Allee für die Varianten Archivdaten (oben) und Referenzfall (unten)

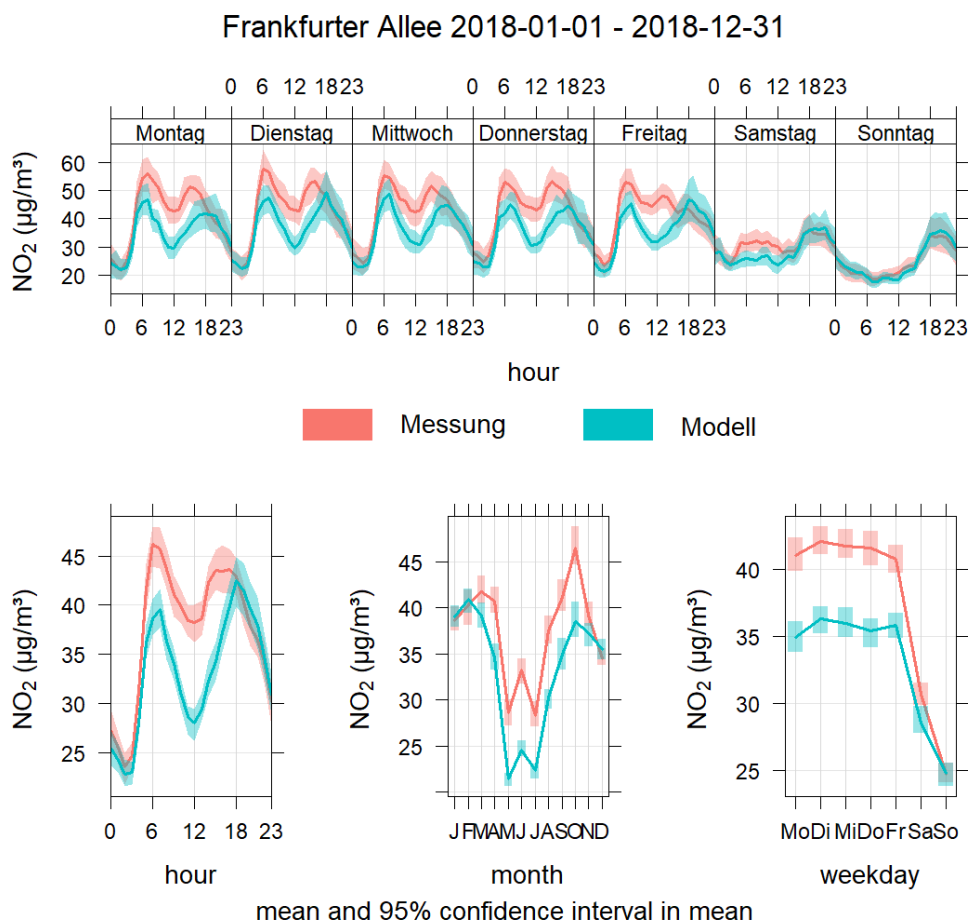


Abbildung 4-3: Ganglinien für NO₂ für die Frankfurter Allee für den Referenzfall

Alle weiteren Auswertungen für die beiden Varianten und zusätzlich auch für PM₁₀ können dem Anhang entnommen werden.

Der Referenzfall stellt die Datengrundlage für alle weiteren Varianten dar.

4.2 Anpassungen der Vorbelastung und regionalisierte Flotte

4.2.1 Vergleich der Varianten

Wie in Kapitel 3.2.1 bis Kapitel 3.2.5 beschrieben, sind Änderungen in der Berechnung des urbanen Konzentrationsbeitrags in IMMIS^{mt} für Berlin vorgenommen worden. Diese Änderungen bestanden in einer Korrektur der allgemeinen Ermittlung der Vorbelastung, in einer Integration des Emissionskatasters und der Kfz-Flotte aus den Modellierungen zur 2. Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans und anschließend einer Anpassung der Ganglinien der verschiedenen Quellarten im Emissionskataster.

Die Jahreskenngrößen des Vergleichs Modell und Messungen für NO_x für die drei Hotspots sind in Tabelle 4-3 aufgeführt. Im ersten Moment überraschend war, dass die Korrektur der Methodik zur Berechnung des urbanen Konzentrationsbeitrags eher zu einer Verschlechterung der Modellwert im Vergleich zu den Messungen führte. Der Unterschied war aber eher gering, weshalb eine detailliertere Ursachenanalyse des Effekts erst nach der Aktualisierung der Emissionskatasterdaten und der Kfz-Flotte auf die Da-

ten aus den Modellrechnungen zum LRP vorgenommen wurde. Da aber diese Anpassung und auch noch eine ergänzende Anpassung der Ganglinien für die einzelnen Verursacher auf die im LRP verwendeten Daten zu keiner Verbesserung führte, wurden die Effekte der Modellierung des urbanen Beitrags an den Konzentrationen detaillierter untersucht.

Tabelle 4-3: Vergleich der NO_x-Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall, Korrektur Vorbelastung, Aktualisierung mit LRP Berlin und Anpassung der Ganglinien

Hotspot	Variante	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	Referenz	73.3	52.3	-21.0	-29%	0.72
	Kor. Vorb.		51.0	-22.3	-30%	0.69
	LRP Berlin		46.2	-27.1	-37%	0.67
	Ganglinien		46.2	-27.1	-37%	0.67
Mariendorfer Damm	Referenz	91.9	62.9	-29.1	-32%	0.75
	Kor. Vorb.		60.0	-32.0	-35%	0.74
	LRP Berlin		52.5	-39.4	-43%	0.73
	Ganglinien		52.3	-39.6	-43%	0.74
Schildhornstraße	Referenz	88.0	62.2	-25.8	-29%	0.75
	Kor. Vorb.		61.4	-26.6	-30%	0.73
	LRP Berlin		55.1	-32.8	-37%	0.71
	Ganglinien		55.1	-32.9	-37%	0.71

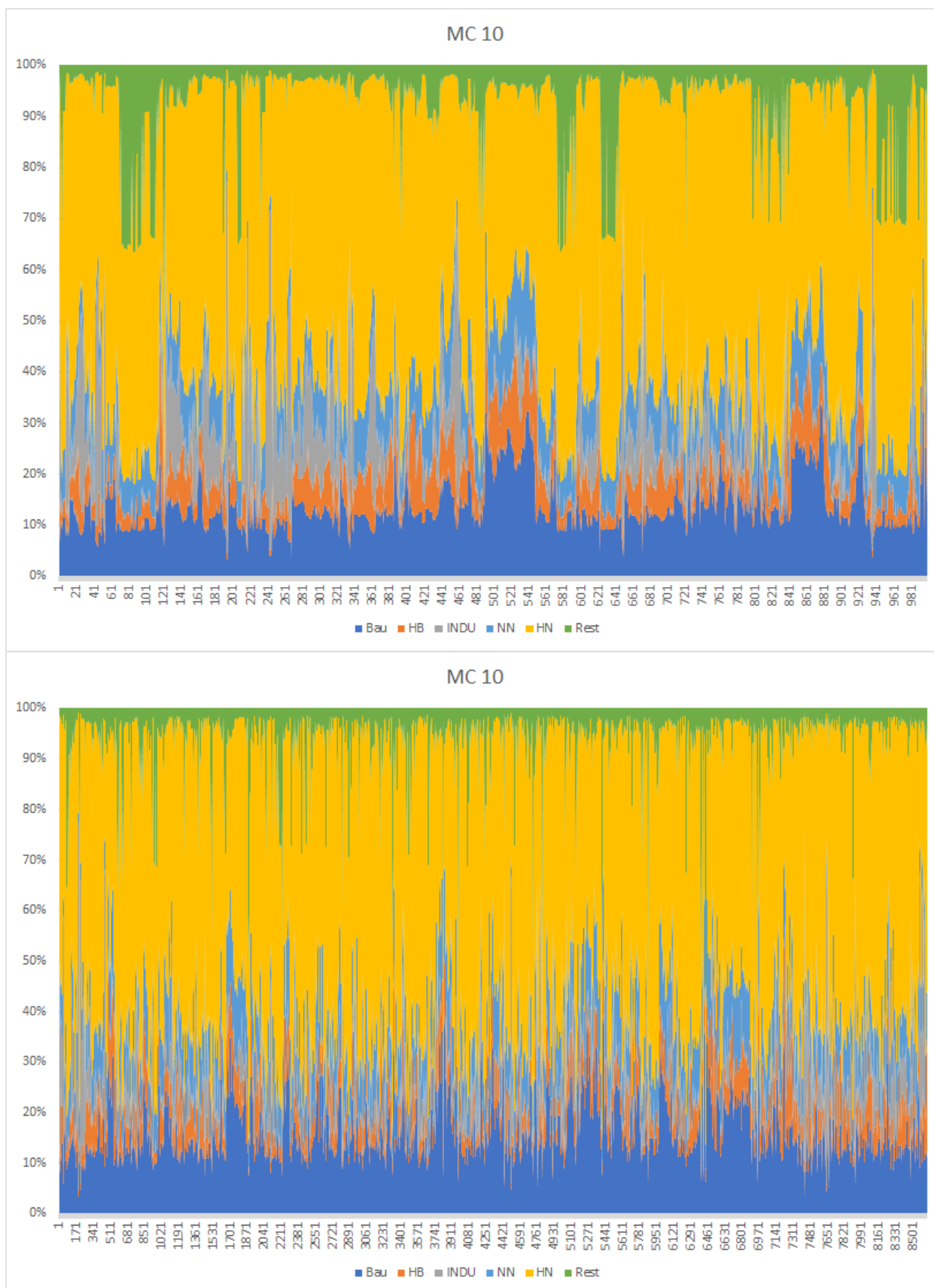
4.2.2 Untersuchungen zeitlich hoch aufgelöster Quellanteile an der urbanen Vorbelastung

Um die Effekte der Berücksichtigung aller bekannten Quellarten in der Bestimmung der zeitlich hoch aufgelösten urbanen Vorbelastung zu untersuchen wurden die Berechnungen aus den Modellierungen zur 2. Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans wiederholt und dabei die stündlichen Zeitreihen der Modellergebnisse ausgewertet.

In den Modellierungen zum LRP werden nur die Jahresmittelwerte der Beiträge der einzelnen Quellgruppen ausgewertet. Die Berechnungen dafür wurden mit IMMIS^{net} durchgeführt, was auch das Modell für den urbanen Beitrag in IMMIS^{mt} ist. Bei den Berechnungen wurde als meteorologische Eingangsdaten eine stündliche Zeitreihe (AKTERM) aus dem Jahr 2015 verwendet und die den Quellgruppen vereinfachte quellgruppenspezifische Ganglinien zugeordnet. Diese Ganglinien unterscheiden Variationen über das Jahr in Monaten, über die Woche durch Wochentage und über den Tag in Tagesgänge getrennt für die Wochentage. In diesen Ganglinien werden keine speziellen Situationen, wie z.B. Feiertage oder genaue Ferienzeiten und auch keine individuellen Rahmenbedingungen, wie z.B. Außentemperatur für Heizungen, abgebildet.

In den folgenden Abbildung 4-4 bis Bau-Baustellen, HB- Hausbrand; INDU-Industrie; NN-Kfz im Nebennetz; HN-Kfz im Hauptnetz

Abbildung 4-8 sind die Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO_x-Stundenwerten an der Hintergrundmessstation in Berlin dargestellt. Im jeweils oberen Bild ist die stündliche Zeitreihe für die ersten 100 Tage des Jahres und im unteren für das ganze Jahr dargestellt.



Bau-Baustellen, HB- Hausbrand; INDU-Industrie; NN-Kfz im Nebennetz; HN-Kfz im Hauptnetz

Abbildung 4-4: Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO_x-Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 10 für die ersten 100 Tage (oben) und das ganze Jahr (unten)



Bau-Baustellen, HB- Hausbrand; INDU-Industrie; NN-Kfz im Nebennetz; HN-Kfz im Hauptnetz

Abbildung 4-5: Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO_x-Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 18 für die ersten 100 Tage (oben) und das ganze Jahr (unten)



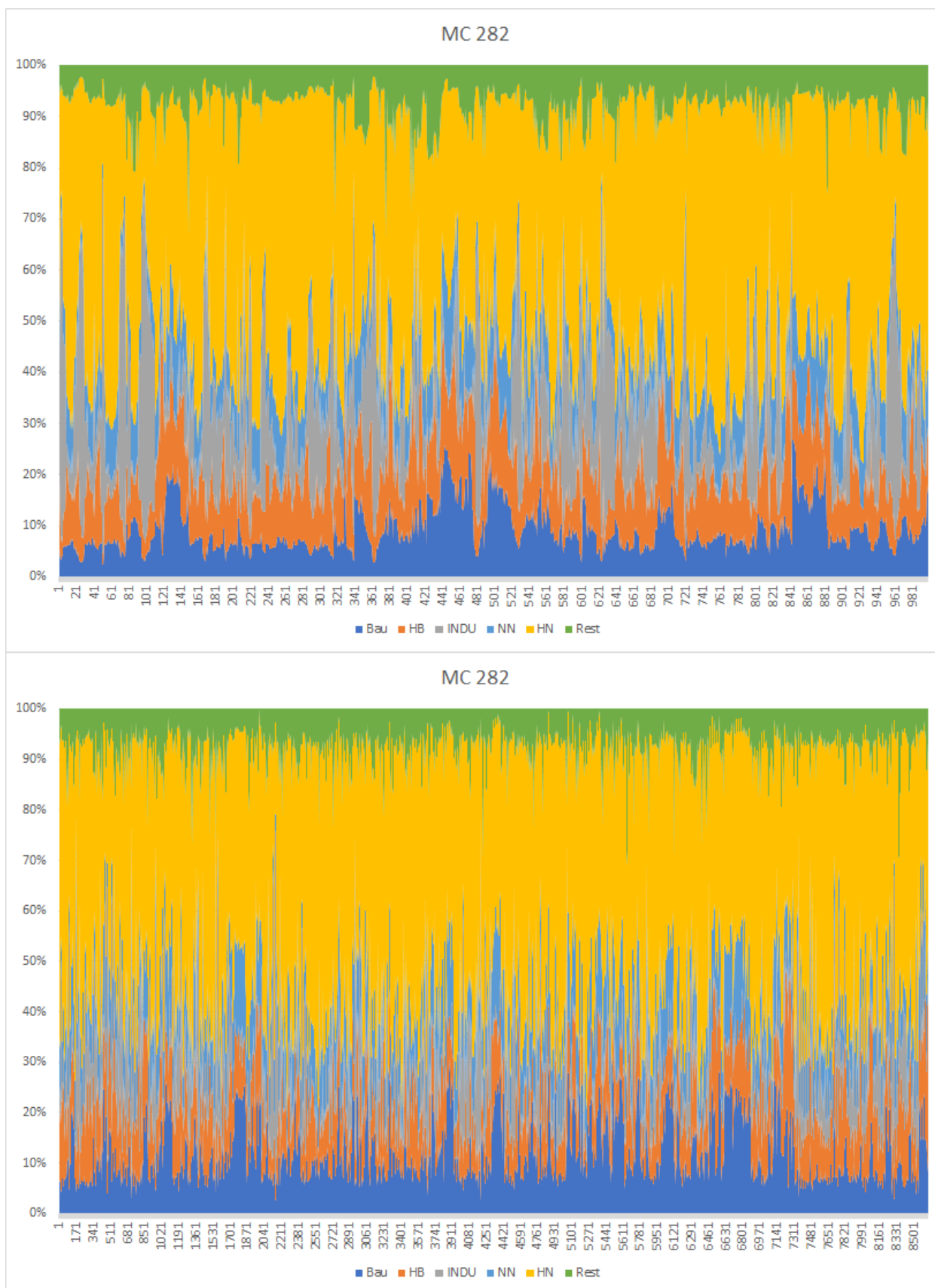
Bau-Baustellen, HB- Hausbrand; INDU-Industrie; NN-Kfz im Nebennetz; HN-Kfz im Hauptnetz

Abbildung 4-6: Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO_x-Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 42 für die ersten 100 Tage (oben) und das ganze Jahr (unten)



Bau-Baustellen, HB- Hausbrand; INDU-Industrie; NN-Kfz im Nebennetz; HN-Kfz im Hauptnetz

Abbildung 4-7: Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO_x-Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 171 für die ersten 100 Tage (oben) und das ganze Jahr (unten)



Bau-Baustellen, HB- Hausbrand; INDU-Industrie; NN-Kfz im Nebennetz; HN-Kfz im Hauptnetz

Abbildung 4-8: Anteile der Quellgruppen an den modellierten NO_x-Stundenwerten an der Hintergrundmessstation MC 282 für die ersten 100 Tage (oben) und das ganze Jahr (unten)

Aus den Darstellungen der Anteile wird deutlich, dass es eine hohe Variation der Zusammensetzung in den einzelnen Stunden gibt. An einigen Stationen kann der Anteil des „Rest“ bis zu 40 % betragen. An allen Stationen ist ein signifikanter Anteil von mobilen Maschinen (BAU) erkennbar. Dabei muss man berücksichtigen, dass z.B. die Emissionen von mobilen Maschinen weder räumlich noch zeitlich präzise zu verorten sind.

Vergleicht man die mit IMMIS^{net} berechnete stündliche NO_x-Belastung an den Hintergrundstationen mit den dort gleichzeitig gemessenen Werten so werden je nach Station an 1100 Stunden bis über 4000 Stunden höhere Konzentrationen berechnet als gemessen wurden.

Aus dieser Untersuchung wird deutlich, dass eine stündliche Online-Berechnung des urbanen Hintergrunds unter Berücksichtigung des Berliner Emissionskatasters unter den gegebenen Randbedingungen nicht sinnvoll durchführbar ist. Es wird deshalb vorgeschlagen, bis auf Weiteres auf die Integration des Emissionskatasters zu verzichten und nur die Emissionen des Kfz-Verkehrs auf dem Hauptstraßennetz zu berücksichtigen, da diese Emissionsdaten für jeden Zeitpunkt explizit aus gemessenen bzw. mit einem stündlich arbeitenden Verkehrsmodell ermittelten Kfz-Daten berechnet werden.

4.3 Neuberechnung mit HBEFA 4.1 im Vergleich zum Referenzfall

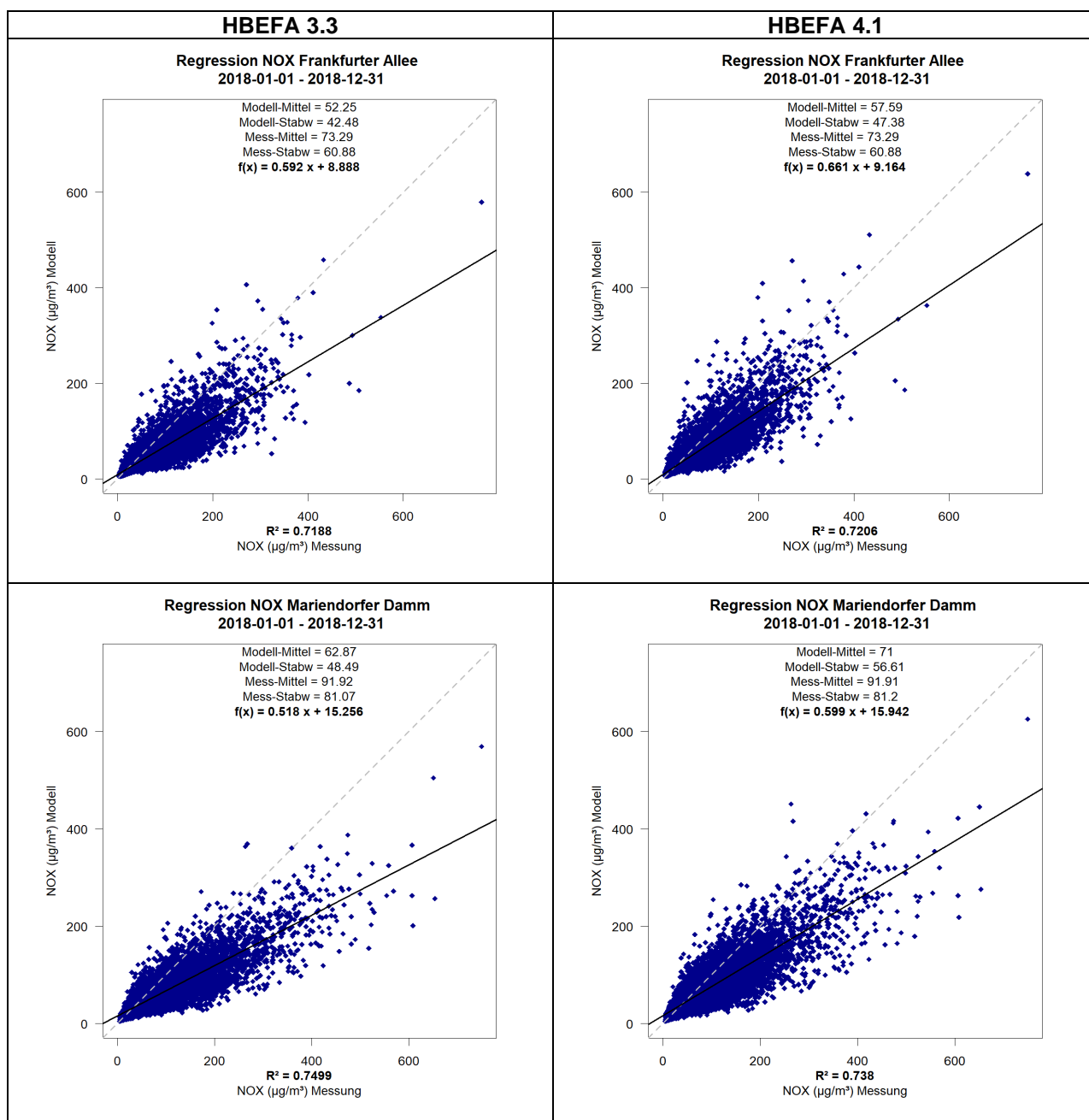
In den folgenden Kapiteln werden die mit HBEFA 4.1 nach Kapitel 3.2.6 neu berechneten Konzentrationen mit den Ergebnissen aus dem Referenzfall nach Kapitel 3.2.2 je Kenngröße NO_x, NO₂ und PM₁₀ verglichen.

4.3.1 NO_x

Mit der Neuberechnung mit dem HBEFA 4.1 werden z.T. deutlich höhere NO_x-Konzentrationen berechnet als mit dem HBEFA 3.3. Trotzdem bleibt es bei einer grundsätzlichen Unterschätzung der Messungen. Die größte Verbesserung wird in der Schildhornstraße erreicht, bei der die Unterschätzung von 29 % auf 15 % zurückgeht. In diesem Fall wird die Schildhornstraße aber weiterhin mit dem Tempolimit 50 km/h gerechnet. In einer weiteren Berechnung wurde mit der in HBEFA 4.1 jetzt auch verfügbaren Verkehrssituation für das Tempolimit 30 km/h auf Hauptverkehrsstraßen gerechnet. Damit liegt die Unterschätzung auch mit dem HBEFA 4.1 in der gleichen relativen Höhe wie bei den anderen Straßen. Der Erklärungswert R² verändert sich mit dem HBEFA 4.1 nicht wesentlich.

Tabelle 4-4: Vergleich der NO_x-Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall und Neuberechnung mit HBEFA 4.1

Hotspot	Variante	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	Referenz	73.3	52.3	-21.0	-29%	0.72
	HBEFA 4.1		57.6	-15.7	-21%	0.72
Mariendorfer Damm	Referenz	91.9	62.9	-29.1	-32%	0.75
	HBEFA 4.1		71.0	-20.9	-23%	0.74
Schildhornstraße	Referenz	88.0	62.2	-25.8	-29%	0.75
	HBEFA 4.1 (T50)		74.5	-13.5	-15%	0.74
	HBEFA 4.1 (T30)		70.6	-17.5	-20%	0.74



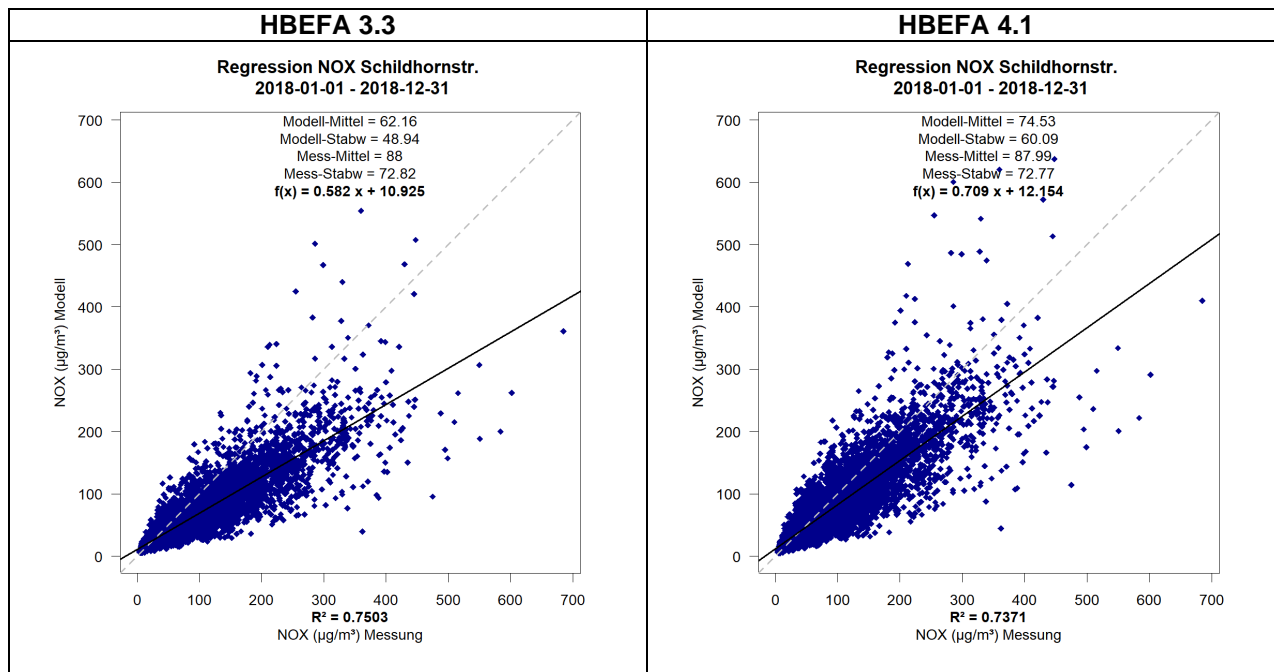


Abbildung 4-9: Vergleich der stündlichen modellierten NO_x-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018

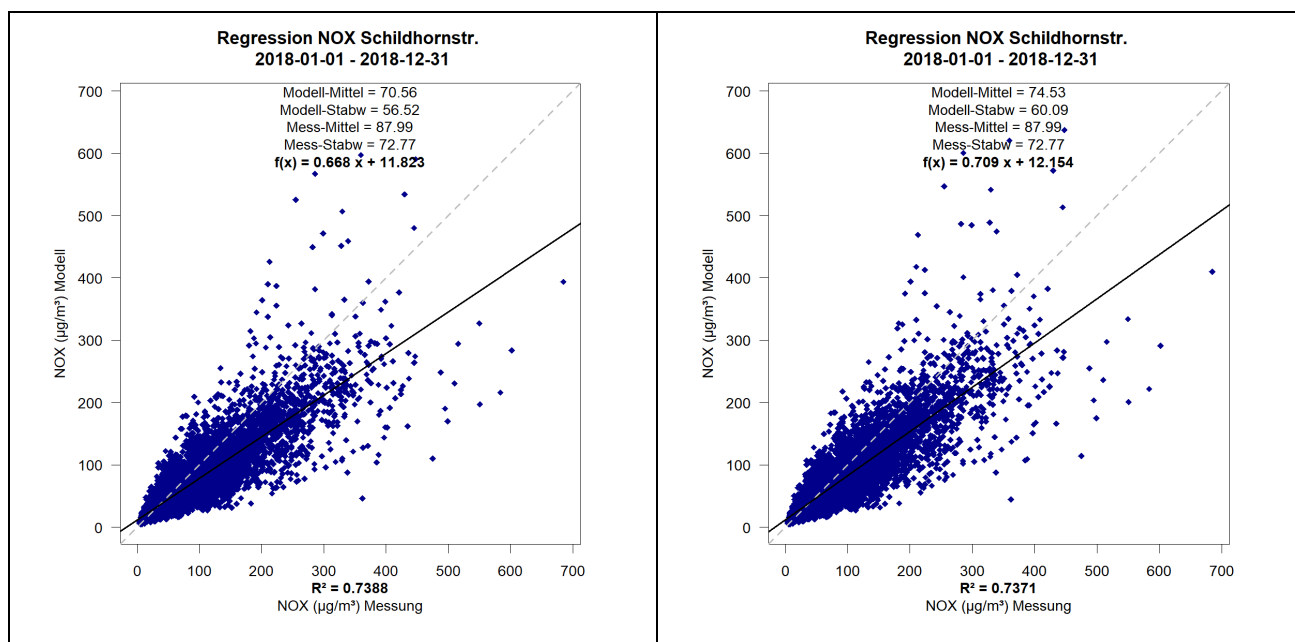


Abbildung 4-10: Vergleich der stündlichen modellierten NO_x-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an der Schildhornstraße für das Jahr 2018 mit HBEFA 4.1 und T50 rechts und T30 links

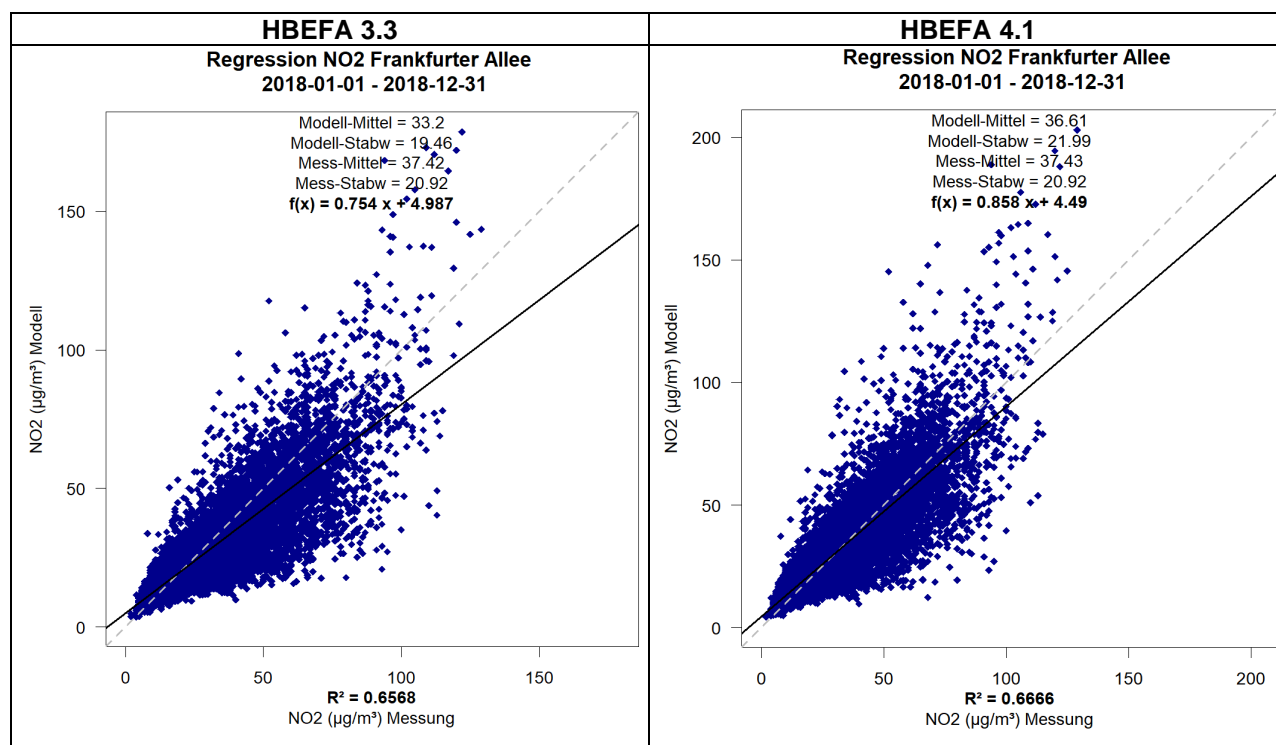
4.3.2 NO₂

Bei NO₂ wird mit dem HBEFA 4.1 bezogen auf den Jahresmittelwert eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Modell erzielt. Die Abweichungen liegen nur noch zwischen -2 % und 1 % bzw. bei der Schildhornstraße unter Berücksichtigung eines Tempolimits von 30 km/h bei -5%. Der Erklärungswert R² verändert sich dabei aber kaum.

Vergleicht man die Ganglinien (Abbildung 4-13 bis Abbildung 4-15) werden die Überlappungsbereiche der Konfidenzintervalle deutlich größer. Der Unterschied in den Konzentrationsmaxima am Vormittag und Nachmittag bleibt aber auch mit dem HBEFA 4.1 erhalten. Deutlich ausgeprägt bleibt auch die Verschiebung der Nachmittagsspitze im Modell gegenüber der Messung in der Frankfurter Allee.

Tabelle 4-5: Vergleich der NO₂-Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall und Neuberechnung mit HBEFA 4.1

Hotspot	Variante	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	Referenz	37.4	33.2	-4.2	-11%	0.66
	HBEFA 4.1		36.6	-0.8	-2%	0.67
Mariendorfer Damm	Referenz	40.5	37.1	-3.4	-8%	0.66
	HBEFA 4.1		41.0	0.5	1%	0.64
Schildhornstraße	Referenz	43.3	37.0	-6.3	-14%	0.65
	HBEFA 4.1 (T50)		43.3	0.0	0%	0.63
	HBEFA 4.1 (T50)		41.3	-2.0	-5%	0.63



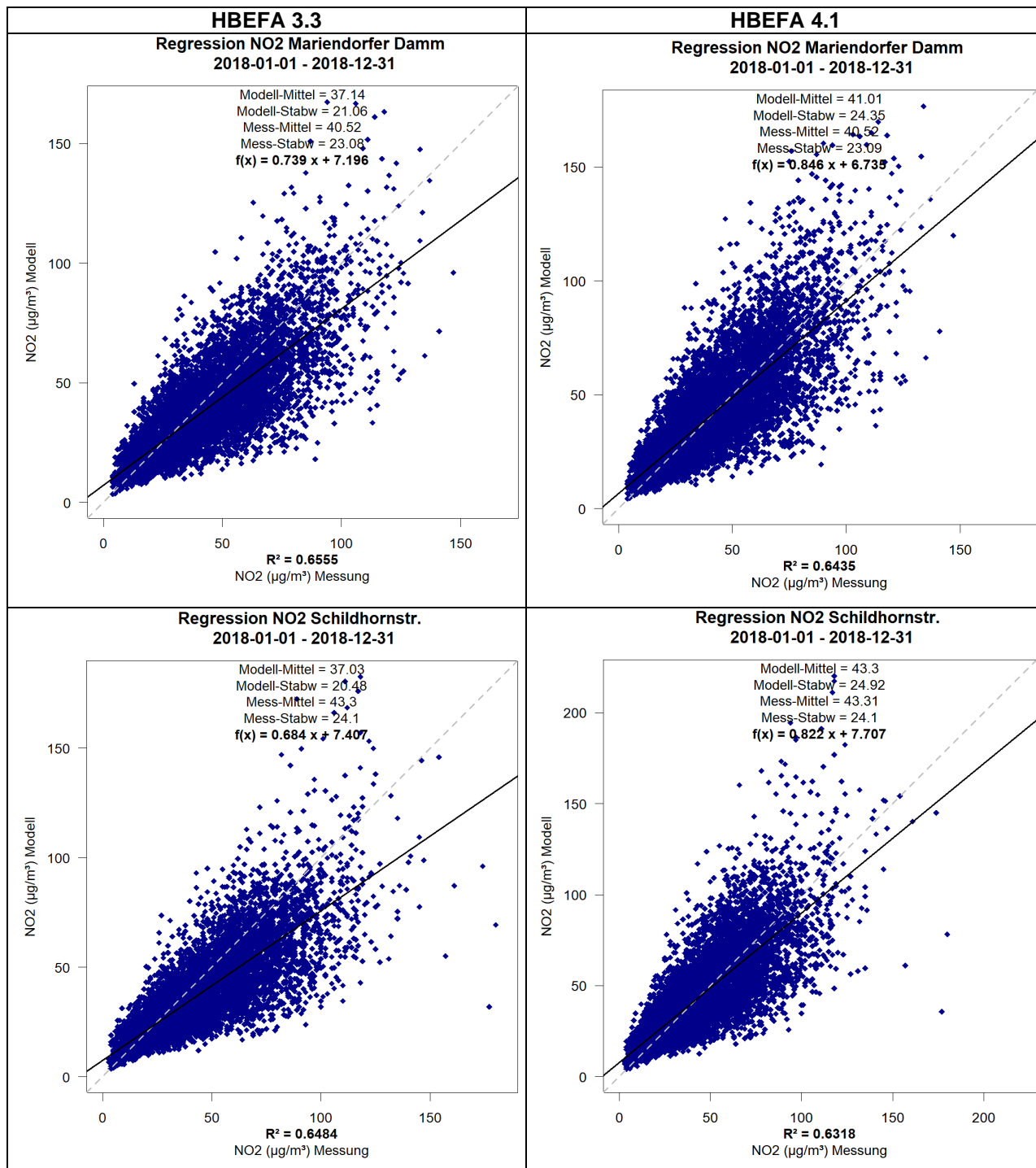


Abbildung 4-11: Vergleich der stündlichen modellierten NO₂-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018

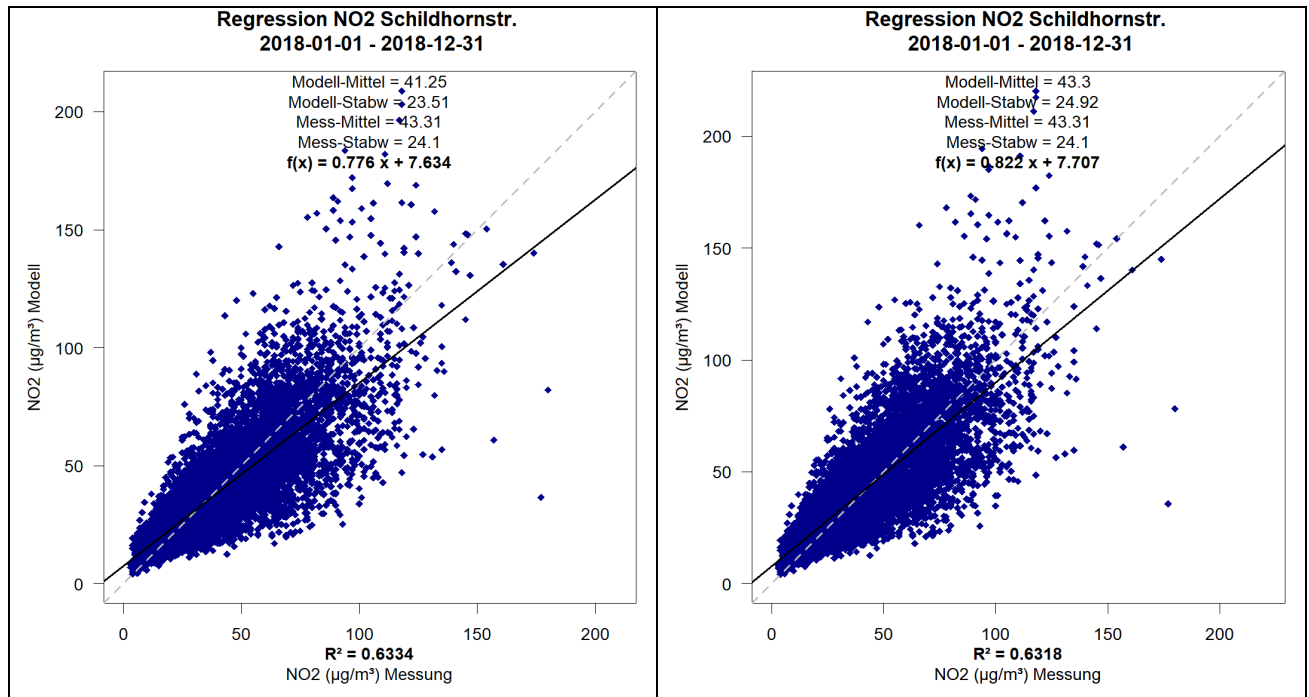


Abbildung 4-12: Vergleich der stündlichen modellierten NO₂-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an der Schildhornstraße für das Jahr 2018 mit HBEFA 4.1 und T50 rechts und T30 links

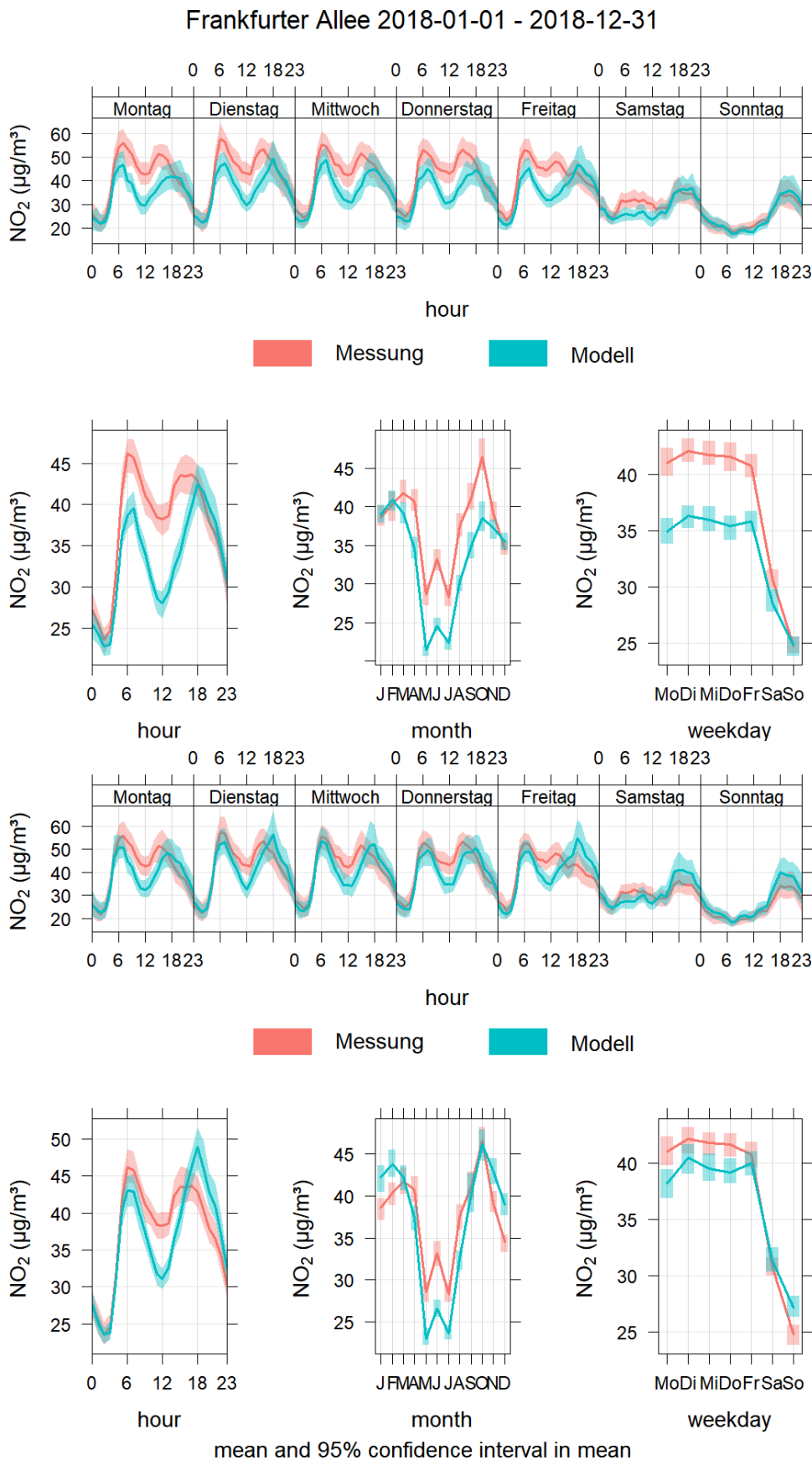


Abbildung 4-13: Vergleich der Ganglinien für NO₂ für die Frankfurter Allee für den Referenzfall (oben) und die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 (unten)

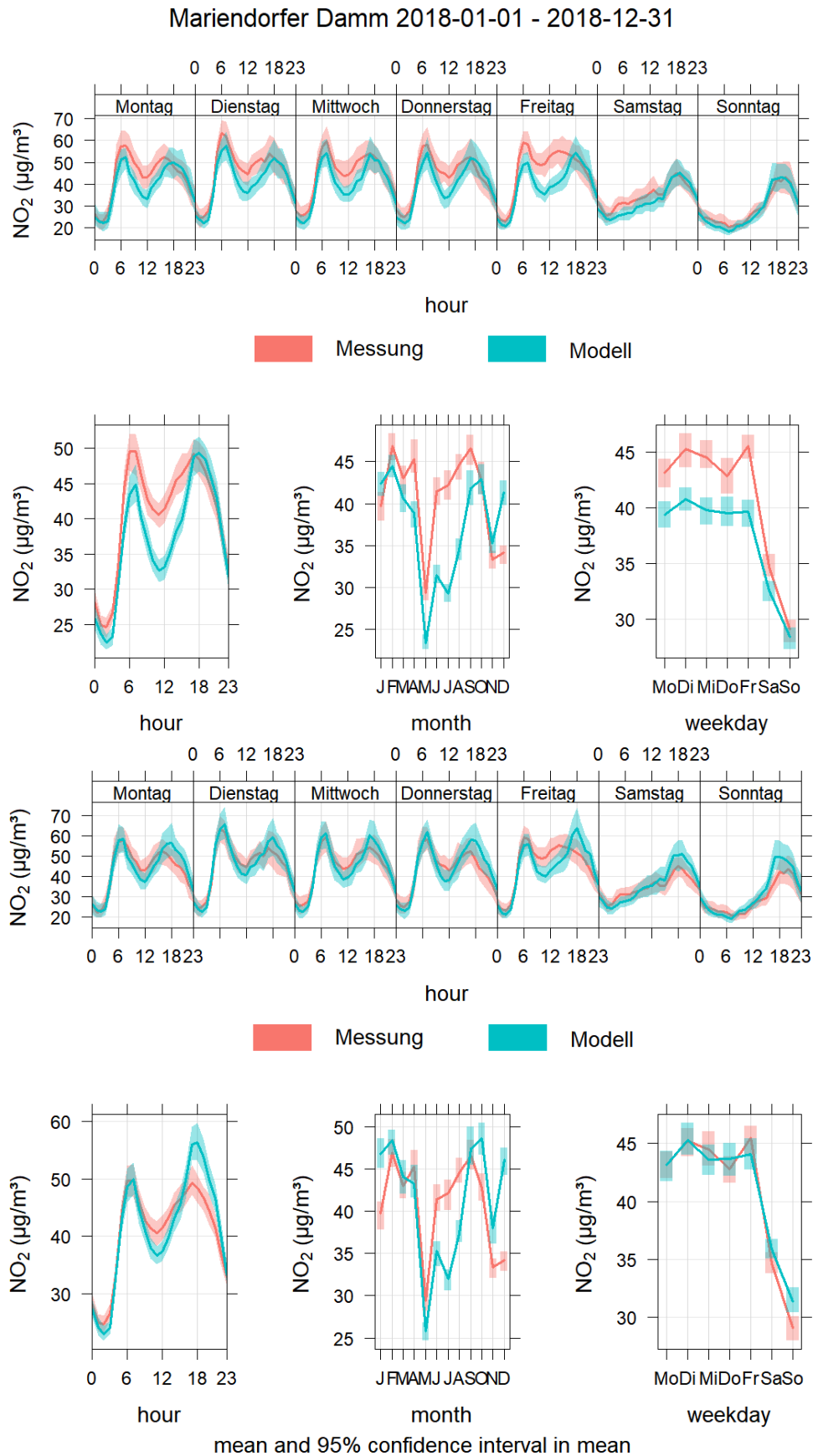


Abbildung 4-14: Vergleich der Ganglinien für NO₂ für den Mariendorfer Damm für den Referenzfall (oben) und die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 (unten)

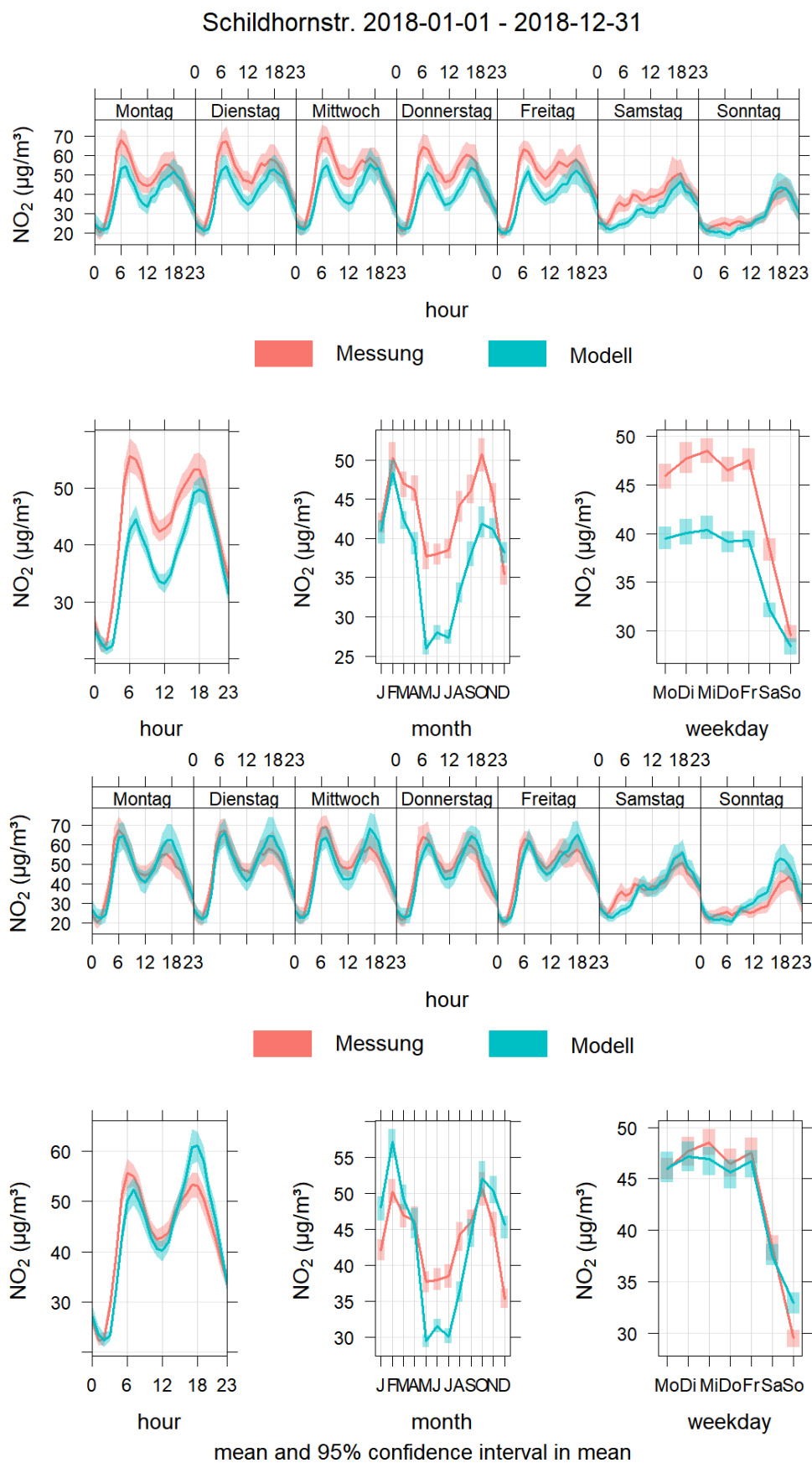


Abbildung 4-15: Vergleich der Ganglinien für NO₂ für die Schildhornstr. für den Referenzfall (oben) und die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 T50 (unten)

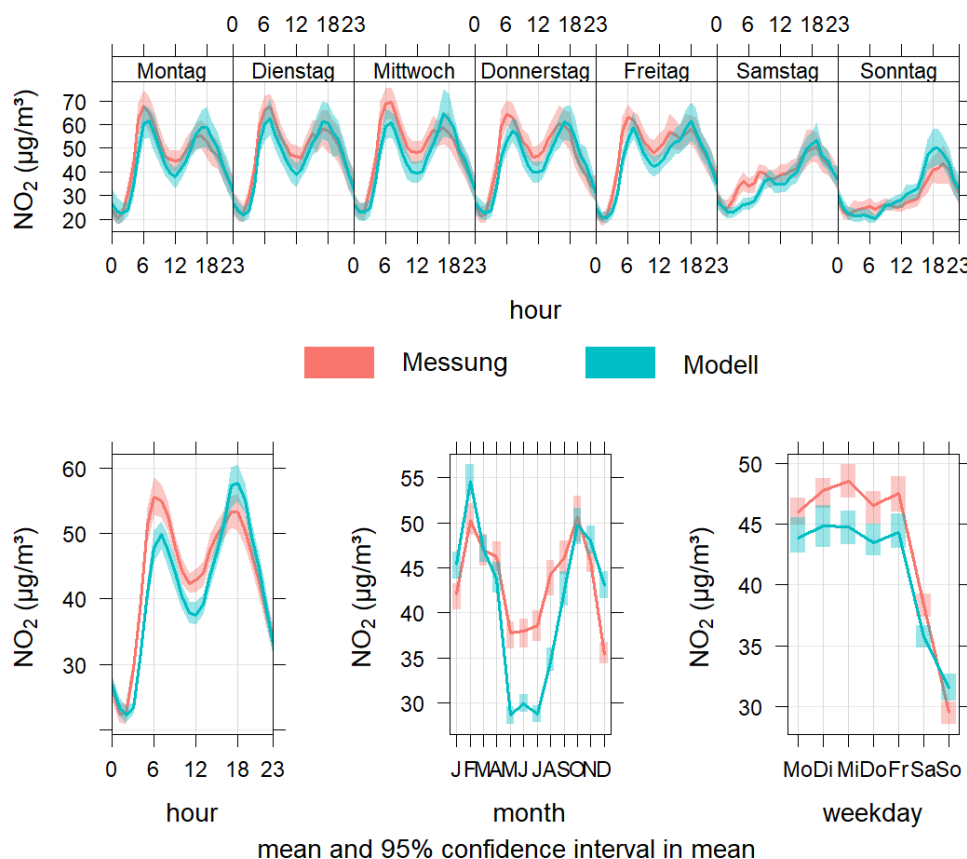


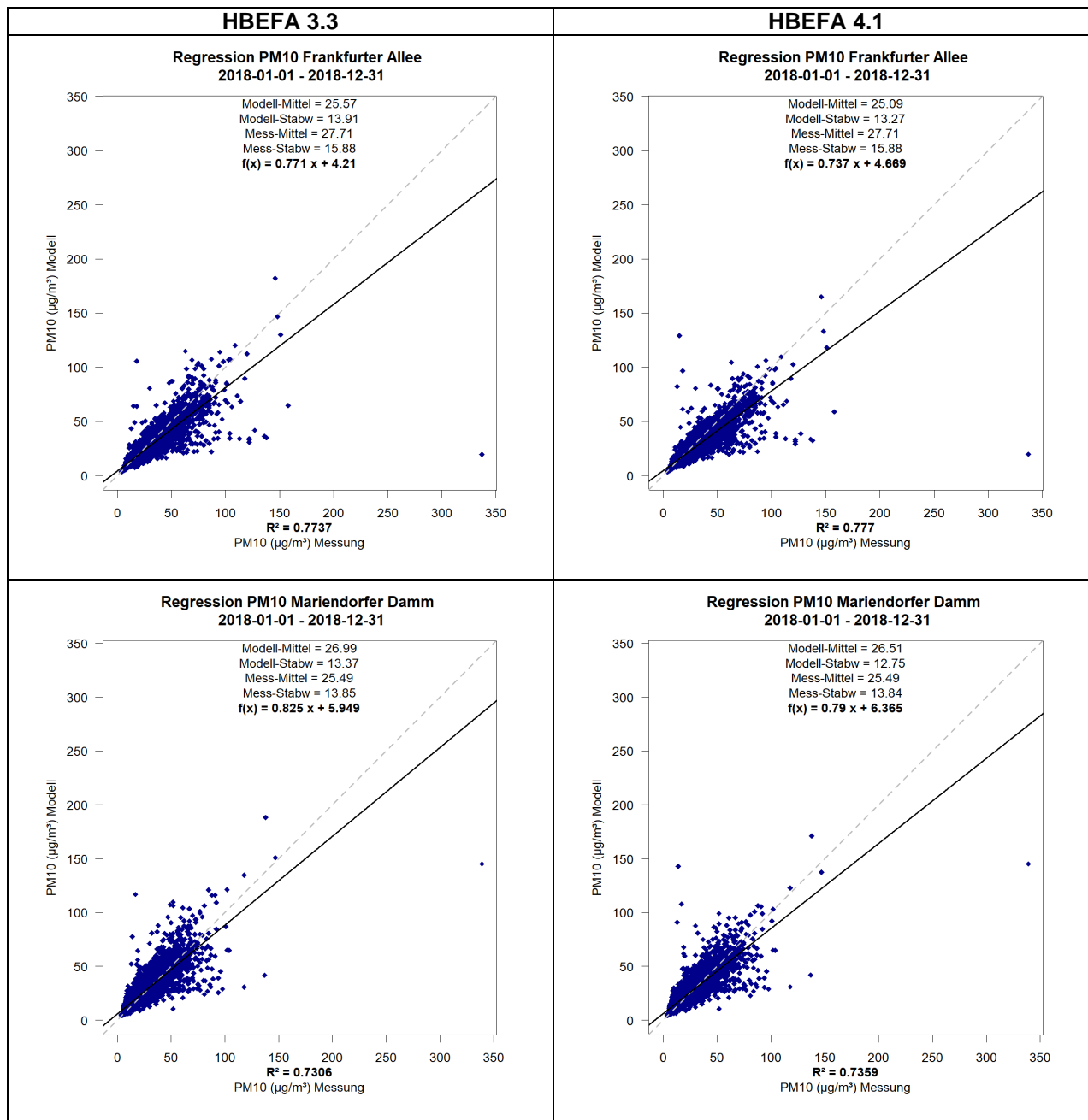
Abbildung 4-16: Ganglinien für NO₂ für die Schildhornstr. für die Neuberechnung mit HBEFA 4.1 mit Tempo 30

4.3.3 PM10

Bei PM10 ergeben sich insgesamt geringe Veränderungen durch den Wechsel des HBEFA. Auffällig ist der schlechte Erklärungswert R² in der Schildhornstraße, wobei dort vereinzelt extrem hohe Messwerte auftreten, die durch das Modell überhaupt nicht abgebildet werden. Durch eine Berechnung mit Tempo 30 für die Schildhornstraße verändert sich der Vergleich zwischen PM10-Messungen und Modellwerten nicht.

Tabelle 4-6: Vergleich der PM10-Jahreskenngößen für die Varianten Referenzfall und Neuberechnung HBEFA 4.1

Hotspot	Variante	Messung [µg/m ³]	Modell [µg/m ³]	absolute Abweichung [µg/m ³]	relative Abweichung [%]	R ²
Frankfurter Allee	Referenz	27.7	25.6	-2.1	-8%	0.77
	HBEFA 4.1		25.1	-2.6	-9%	0.78
Mariendorfer Damm	Referenz	25.5	27.0	1.5	6%	0.73
	HBEFA 4.1		26.5	1.0	4%	0.74
Schildhornstraße	Referenz	25.2	26.3	1.0	4%	0.33
	HBEFA 4.1 (T50 und T30)		25.9	0.6	2%	0.34



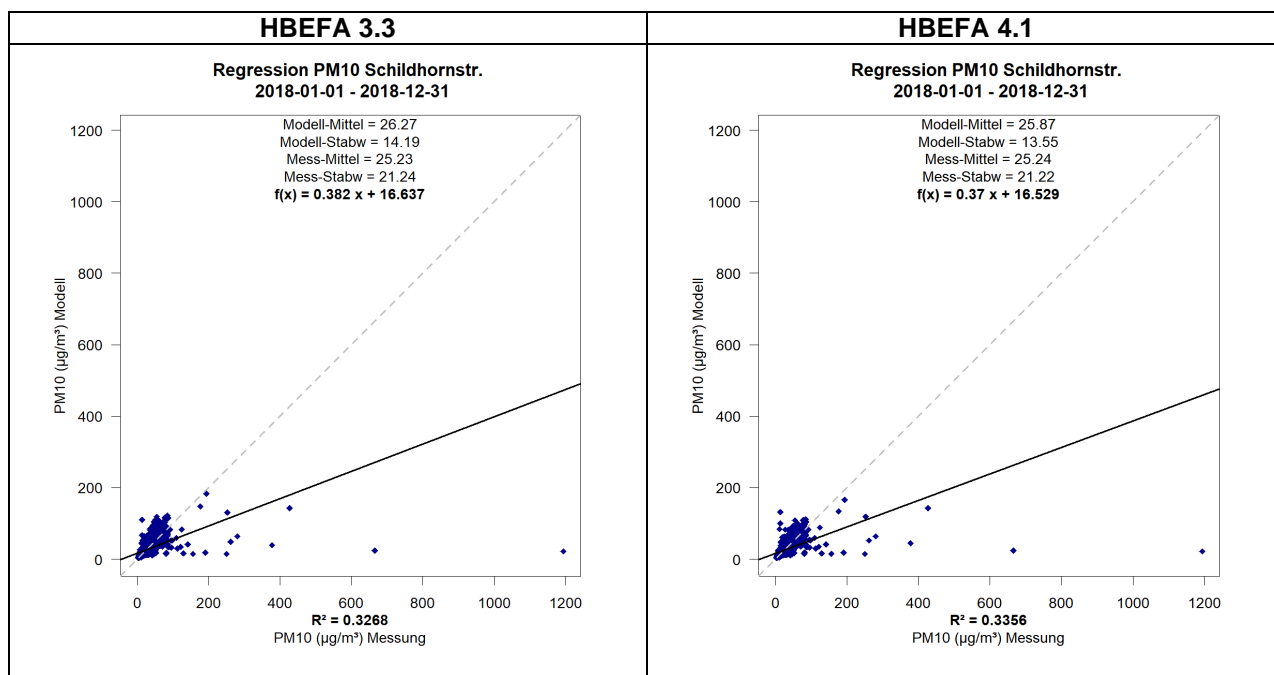
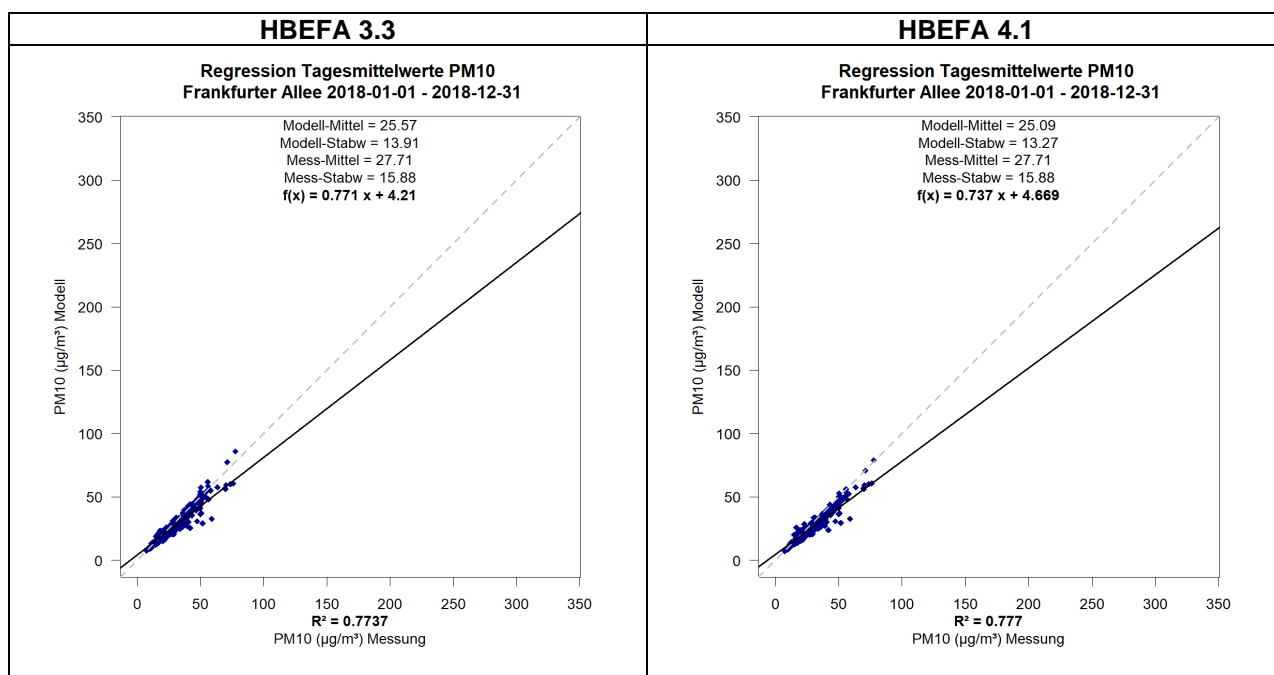


Abbildung 4-17: Vergleich der stündlichen modellierten PM10-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hotspot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018



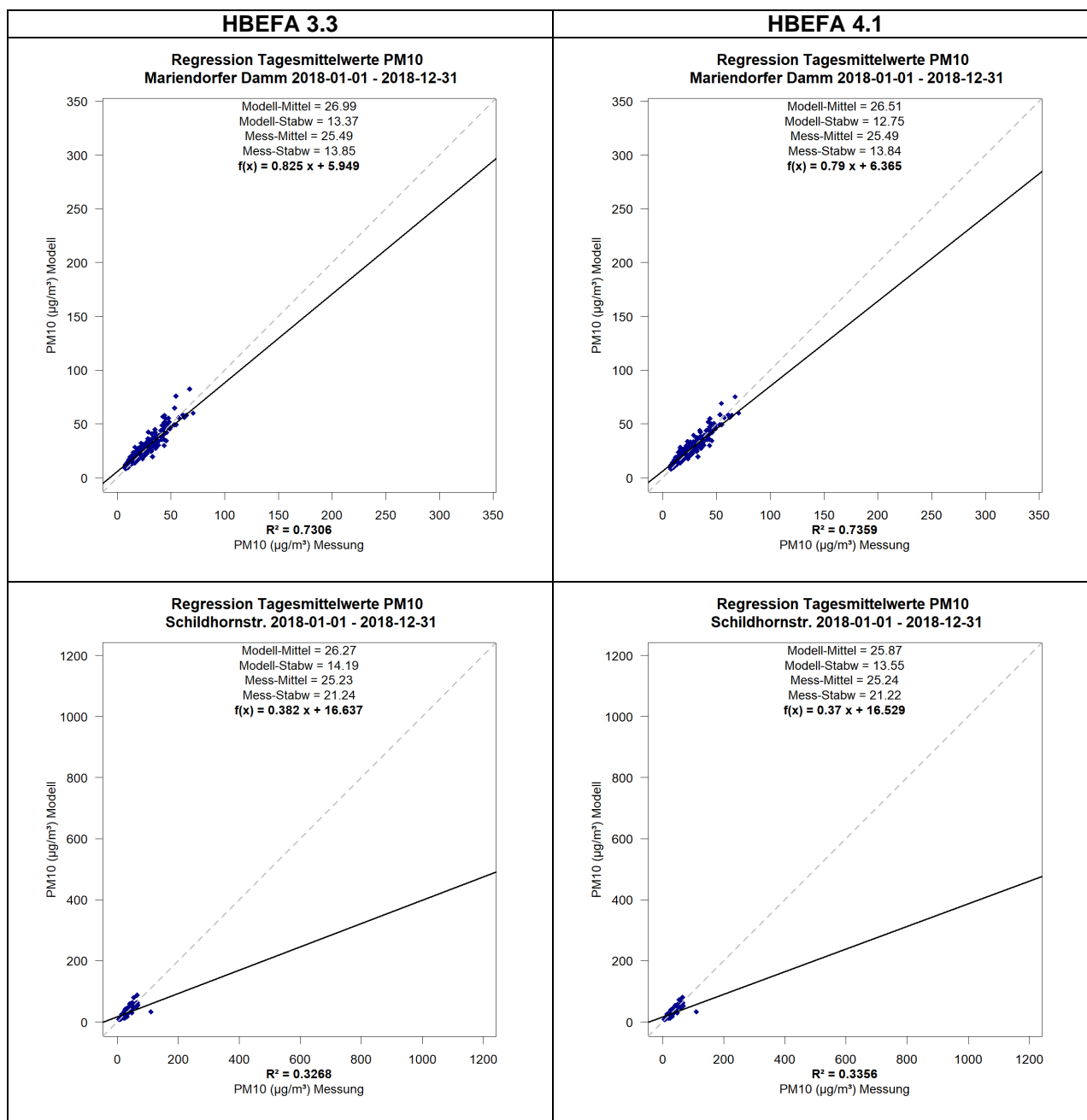


Abbildung 4-18: Vergleich der Tagesmittelwerte der modellierten PM10-Konzentrationen mit den gemessenen Werten an den drei Hot-spot-Messstationen Frankfurter Allee, Mariendorfer Damm und Schildhornstraße für das Jahr 2018

5 Ausblick

Die vorliegenden Auswertungen zeigen, dass mit dem Wechsel auf das HBEFA 4.1 eine deutlich bessere Übereinstimmung der Modellwerte für NO₂ im Vergleich zu den Messungen für das Referenzjahr 2018 erreicht werden. Deshalb kann der Wechsel im Online-System der VMZ aus Sicht der Autoren vollzogen werden.

Im Weiteren sollte zum einen die Kfz-Flotte im Monitoringsystem IMMIS^{mt} auf eine regionalisierte Flotte im HBEFA 4.1-Format aktualisiert und zum anderen die Ermittlung des LOS auf die neue Systematik des HBEFA 4.1 angepasst werden.

Weiterer Entwicklungsbedarf besteht in der Integration des Berliner Emissionskatasters in das Monitoringsystem. Das ist wahrscheinlich nicht für alle Quellgruppen, wie z.B. die mobilen Maschinen und auch Industrie, einfach möglich aber für den Nebennetz-Kfz-Verkehr und den Hausbrand sollten sich aus vorhandenen Informationen realistischere Ganglinien der Emissionen ableiten und integrieren lassen.

Untersuchungsbedarf besteht weiterhin hinsichtlich der Diskrepanz in der systematischen Unterschätzung von NO_x und der trotzdem guten Übereinstimmung bei NO₂ sowie bei den Unterschieden in den NO₂-Konzentrationsspitzen am Vormittag und Nachmittag.