



*Liebe Leserinnen und Leser,*

Das Thema Luftreinhaltung hat es zuletzt durch zwei Ereignisse auf die öffentliche Tagesordnung gebracht:

- Die TA Luft wurde vom Bundesrat mit ca. 200 Änderungen verabschiedet. Sie tritt nach der Bestätigung durch die Bundesregierung (hoffentlich) bald in Kraft. Wir werden dies nun zeitnah in unserer gutachterlichen Tätigkeit berücksichtigen.
- Der europäische Gerichtshof (EuGH) hat ein Vertragsverletzungsurteil gegen Deutschland „wegen systematischer und anhaltender Überschreitung der Grenzwerte für Stickstoffdioxid“ gefällt. Was dieses Urteil in Anbetracht sinkender NO<sub>2</sub>-Messwerte für die Luftreinhaltung der nächsten Jahre zu bedeuten hat, hängt sicherlich auch von den nach den pandemiebedingten Shutdowns gemessenen Konzentrationen in 2021 und 2022 ab.

Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Städte bleiben ein wichtiges Thema. In Gutachten für diese Fragestellung wird von uns das Klimasimulationsmodell PALM-4U eingesetzt. Bereits im Sommer letzten Jahres haben wir von unseren Erfahrungen mit PALM-4U berichtet. Mit der Evaluierung von PALM-4U sind wir einige Schritte weitergekommen. Nachdem in unserer vorletzten Hauszeitung ein Abgleich mit lokalen Kaltluftströmungen entsprechend den fachlichen Qualitätsanforderungen des Testfalls E8 „Stuttgarter Talkessel“ der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 „Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle, Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder“ gezeigt wurde, wird in unserem ersten Artikel dieser Ausgabe ein Abgleich mit dem Testfall E7 „Grazer Becken“ vorgestellt.

Ein wichtiger Teil unserer gutachterlichen Tätigkeit innerhalb von Luftreinhaltungsplänen ist unter

anderem eine permanente Qualitätsprüfung der Emissions- und Immissionsberechnung. Im Vergleich von berechneten Konzentrationen in Straßenschluchten mit Messwerten wurde deutlich, dass die auf Basis von HBEFA4.1 berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte häufig zu hoch waren. In unserem zweiten Artikel berichten wir deshalb über eine für das Umweltbundesamt durchgeführte Studie, welche die Überprüfung und Verbesserung der NO<sub>2</sub>-Immissionsmodellierung auf Basis der Emissionen aus HBEFA4.1 im Nahbereich von Straßen zum Ziel hatte.

Ich wünsche Ihnen nun viel Spaß beim Lesen und einen erholsamen Sommer. Bleiben Sie gesund

## AKTUELLES IN KÜRZE

- Das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) hat folgendes Forschungsprojekt aufgelegt: "Emissionen und Immissionen aus dem Schienenverkehr - Luftschadstoff-Monitoring und Ausbreitungsberechnung" Das Projekt startete am 15.02.2021 mit einer Laufzeit von 36 Monaten. Wir (die Lohmeyer GmbH) als Auftragnehmer arbeiten hier zusammen mit dem Institut für Bahntechnik GmbH (IFB), dem Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart sowie dem Fraunhofer Institut für Toxikologie und Experimentelle Medizin, Bereich Chemikalienbewertung und Toxikologie Hannover (ITEM). Weitere Informationen finden sich unter <https://www.lohmeyer.de/forschung-entwicklung/aktuelle-forschungsprojekte/>
- Seit 15.02.2021 ist das PC-basierte Programm RLUS 2.1 zur Anwendung bei Immissionsabschätzungen nach den RLUS 2012, Fassung 2020, verfügbar. Weitere Informationen zum Programm sowie Angaben zum Kauf finden Sie auf der Produktseite zu RLUS 2.1: <https://www.lohmeyer.de/softwarevertrieb/produktuebersicht/rlus/>
- Die im Auftrag des LfULG Sachsen erstellte flächenhafte Darstellung der topografisch bedingten Schornsteinhöhen in Sachsen ist fertiggestellt. Die Karte stellt eine Umsetzung des in Nr. 5.5.2.3 Entwurf TA Luft (2020) definierten Kavitätsprinzips (Kavität = Leewirbel im Bereich von Strömungshindernissen) dar, erweitert um eine minimale Hindernisbreite von 20°.

## INHALT

- Anwendung von PALM4U  
Teil 2 . . . . . Seite 2
- Einfluss des HBEFA 4.1  
auf die Modellierung der  
NO<sub>2</sub>-Immissionen -  
Erfahrungen und  
Empfehlungen . . . . . Seite 4

**Lohmeyer GmbH**  
Aerodynamik, Klima, Immissionsschutz  
und Umweltssoftware  
[www.lohmeyer.de](http://www.lohmeyer.de)

**Niederlassung Karlsruhe:**  
[info.ka@lohmeyer.de](mailto:info.ka@lohmeyer.de)  
0721-625100

**Niederlassung Dresden:**  
[info.dd@lohmeyer.de](mailto:info.dd@lohmeyer.de)  
0351-839140

**Niederlassung Dorsten:**  
[info.dorsten@lohmeyer.de](mailto:info.dorsten@lohmeyer.de)  
02362-993370

## ANWENDUNG VON PALM-4U - TEIL 2

Das frei verfügbare Modell PALM-4U (u. a. Raasch and Schröter, 2001 [1]; Maronga et al., 2015 [2]) wurde für stadtklimatische Aufgabenstellungen entwickelt und wird von uns seit einiger Zeit angewendet. Obwohl manche Teilkomponenten noch in der Entwicklung sind, beispielsweise die graphische Benutzeroberfläche, ist es für detaillierte stadtklimatische Berechnungen in der Umwelt- und Bauleitplanung gut einsetzbar. Nachdem in Lohmeyer (2020) ein Abgleich mit lokalen Kaltluftströmungen entsprechend den fachlichen Qualitätsanforderungen des Testfalls E8 „Stuttgarter Talkessel - Strömungskanalisation, Kaltluftabflüsse“ der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 2017 „Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle, Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder“ gezeigt wurde, wird im Folgenden ein Abgleich mit dem Testfall E7 „Grazer Becken - Gegenströmung“ vorgestellt.

Abb. 1 zeigt das Relief des Untersuchungsgebietes. Das Grazer Becken ist ein nach Südsüdosten geöffnetes Talbecken am Ostrand der Alpen, das von dem Fluss Mur von Norden nach Südsüdosten

Station	Messhöhe in m	Gew.-faktor	Beobachtung				Simulation		Fehler		
			FF in m/s		DD in Grad		FF in m/s	DD in Grad	FF in m/s	DD in Grad	
			von	bis	von	bis					
E7-N-1	60	1/3	3.6	3.8	296	319	1.48	325	2.12	6.4	
E7-N-1	90		4.4	4.5	251	256	2.33	328	2.07	71.8	
E7-N-1	140		4.2	4.6	295	306	3.10	332	1.10	25.5	
E7-N-3	20	1/6	0.3	0.7	120	208	0.52	121	0.00	0.0	
E7-N-3	40		0.7	1.3	104	194	0.32	152	0.38	0.0	
E7-N-3	65		0.9	1.3	47	161	0.37	217	0.53	54.7	
E7-N-3	145		1.9	3.3	305	320	1.45	344	0.45	24.3	
E7-N-3	215		5.6	6.7	315	325	1.82	346	3.78	20.5	
E7-N-3	285		3.6	4.9	301	321	2.09	326	1.51	5.4	
E7-N-4	20	1/7	0.5	1.0	241	298	1.01	266	0.01	0.0	
E7-N-4	40		1.0	1.3	272	326	1.07	258	0.00	13.7	
E7-N-4	60		1.1	1.5	289	335	1.16	252	0.00	37.1	
E7-N-4	80		0.8	1.4	301	354	1.24	249	0.09	52.2	
E7-N-4	100		0.9	1.6	255	343	1.30	249	0.00	5.8	
E7-N-4	145		1.3	1.8	271	319	1.55	254	0.00	17.4	
E7-N-4	295		3.3	3.6	296	330	1.62	340	1.68	10.1	
E7-N-5	15	1	0.0	0.5	-	-	0.47	176	0.00	-	
E7-N-7	72	1	0.2	1.5	169	199	0.32	230	0.00	30.8	
E7-N-8	35	1	2.1	3.3	293	316	2.73	318	0.00	1.7	
E7-N-9	60	1	0.0	0.5	-	-	0.26	285	0.00	-	
E7-N-10	10	1	0.4	1.0	199	309	0.83	283	0.05	0.0	
E7-N-11	12	1	4.7	5.7	258	270	1.04	258	3.66	0.3	
E7-N-12	30	1	1.2	1.4	116	142	0.38	158	0.82	16.0	
MAE erlaubt bis			0.9		18		MAE Simulation		0.76		15.1
RMSE erlaubt bis			1.3		25		RMSE Simulation		0.90		19.7

Tab. 1: Messwerte und Simulationsergebnisse für den Testfall E7 (Grazer Becken) sowie mittlere absolute (MAE) und quadratische Fehler (RMSE)

durchflossen wird. Im Westen erhebt sich der Nord-Süd ausgerichtete Plabutsch-Buchkogel-Höhenzug etwa 400 m über das Talbecken, im Norden erheben sich u. a. die Berge

„Hohe Rannach“ und „Platte“ etwa 650 m bzw. 300 m über das Talbecken und im Osten schließt das oststeirische Hügelland an.

Für die Modellrechnungen werden die Eingangsdaten, d. h. Modellausdehnung, Gitterweite, Relief und Landnutzung, sowie die meteorologischen Anfangs- und Randwerte entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 berücksichtigt. Die meteorologischen Eingangsdaten basieren u. a. auf umfangreichen Windmessungen während einer autochthonen Wetterlage nachts an unterschiedlichen Standorten und Höhen, die im Rahmen des DATE-Graz-Projektes zwischen 1997 und 1999 erhoben wurden, z. B. Almbauer et al.[3], 2000, Öttl et al., 2000 [4]. Das über die geforderte Simulationsdauer von einer Stunde konstant gehaltene Einstromprofil gibt eine nordwestliche Anströmung bis etwa 700 m über Grund am Initialisierungspunkt (E7-N-2 in Abb. 2) im nördlichen Bereich des Grazer Beckens vor, darüber dreht die Windrichtung in verschiedenen Höhen auf unterschiedliche Richtungen. Die Windgeschwindigkeit besitzt ihr bodennahes Maximum mit etwa 4 m s<sup>-1</sup> in knapp 200 m ü.

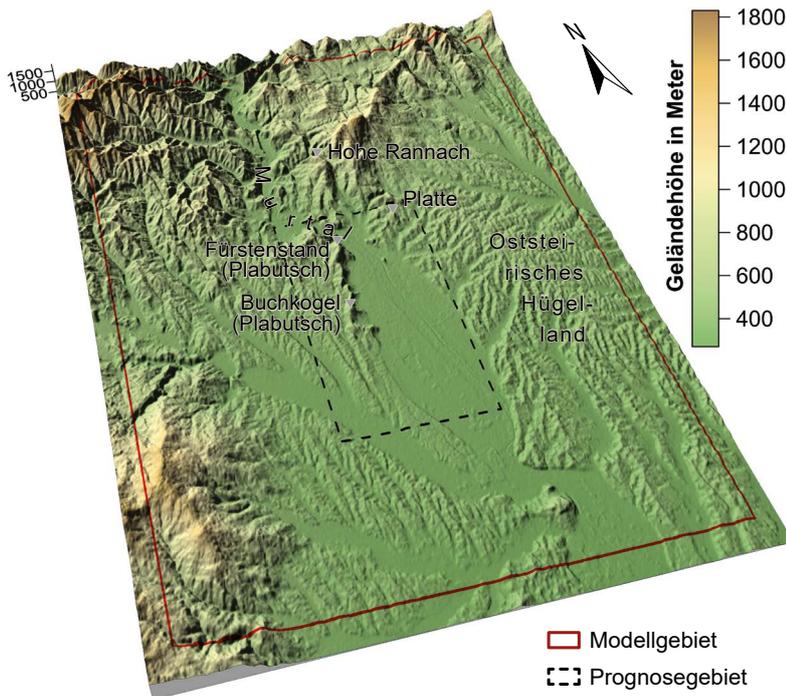


Abb. 1: Zweifach überhöhtes Relief für den Testfall E7 (unmaßstäbliche Darstellung)

Grund am Initialisierungspunkt und geht bis etwa 700 m. ü. Grund auf ca.  $1.5 \text{ m s}^{-1}$  zurück. Darüber erfolgt zusammen mit der Winddrehung eine Erhöhung der Geschwindigkeit.

**Abb. 2** zeigt die Standorte der Windmessungen sowie die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung in 10 m ü. Grund im Prognosegebiet nach einer Stunde Rechenzeit. Aus dem Murtal erreichen Strömungen aus nordwestlichen bis nördlichen Richtungen das Prognosegebiet, die zum einen das Grazer Becken als Talwind über das Murtal erreichen, d. h. etwa im Bereich des Standortes E7-N-11. Zum anderen wird der Plabutsch-Buchkogel-Höhenzug im Westen des Grazer Beckens in den oberen Bereichen teilweise überströmt und teilweise umströmt, sodass es zu einer leeseitigen Winddrehung im Grazer Becken

von nordwestlichen auf südliche Richtungen mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten kommt. Dadurch werden im Bereich des Messpunktes E7-N-3 zwischen 10 m und 60 m ü. Grund Windrichtungen zwischen  $115^\circ$  und  $209^\circ$  berechnet, in etwa 150 m ü. Grund setzt sich die übergeordnete Strömung aus Nordwest in der Umgebung des Standortes E7-N-3 durch. Damit erfüllt PALM-4U die qualitativ erforderlichen Abgleiche mit den Messungen entsprechend der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7. Für die quantitativen Vergleiche werden der mittlere absolute (MAE) und mittlere quadratische Fehler (RMSE) der Simulationsergebnisse gegenüber den Messungen an zahlreichen Punkten in verschiedenen Höhen entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 berechnet (**Tab. 1**). Der MAE und der

RMSE in Bezug auf die Strömungsgeschwindigkeit sind  $0.76 \text{ m/s}$  (erlaubt:  $0.9 \text{ m/s}$ ) bzw.  $0.90 \text{ m/s}$  (erlaubt:  $1.3 \text{ m/s}$ ), in Bezug auf die Strömungsrichtung  $15.1^\circ$  (erlaubt:  $18^\circ$ ) bzw.  $19.7^\circ$  (erlaubt:  $25^\circ$ ). Somit besteht PALM-4U den Testfall E7 „Grazer Becken - Gegenströmung“ der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit den Berechnungen des prognostischen mesoskaligen Modells ProWiMo (Flassak, 2018 [5]), das in unserem Büro u. a. für die Berechnung von Windfeldbibliotheken eingesetzt wird.

Entsprechend den erfolgreichen Abgleichen der PALM-4U-Simulationen für Kaltluftströmungen und Relief bedingten Gegenströmungen mit den fachlichen Qualitätsanforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 7 können stadtklimatische Fragestellungen inklusive planungsbezogener Detailbetrachtungen mit PALM-4U auch unter der Berücksichtigung der Auswirkung von komplexen Geländestructuren betrachtet werden. Die Behandlung hoch aufgelöster Rechengitter mit dreidimensionalen Gebäude- und Vegetationselementen erfolgt mittels Nesting, d. h. Gitterverfeinerung, unter Berücksichtigung der Verhältnisse in der weiteren Umgebung.

#### Literatur:

[1] Raasch, S. and M. Schröter (2001): PALM - a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. Meteorol. Z. 10, 363–372

[2] Maronga et al. (2015): The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for atmospheric and oceanic flows: model formulation, recent developments, and future perspectives, Geosci. Model Dev., 8, 1539–1637

[3] Almbauer, R.A., Oettl, D., Bacher, M., Sturm, P.J.: Simulation of the air quality during a field study for the city of Graz. In: Atmos. Environ. 34 (2000), pp. 4581–4594

[4] Öttl, D., Almbauer, R.A., Sturm, P.J., Piringer, M., Baumann, K.: Analyzing the nocturnal wind field in the city of Graz. In: Atmos. Environ. 35 (2000), pp. 379–387

[5] Flassak, Th. "Evaluierung des prognostischen mesoskaligen Modells ProWiMo auf der Basis der Richtlinie VDI 3783 Blatt 7 Teil 2." Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 78 (2018): 43-51.

**Ansprechpartner:** Dr. rer. nat. B. Brecht

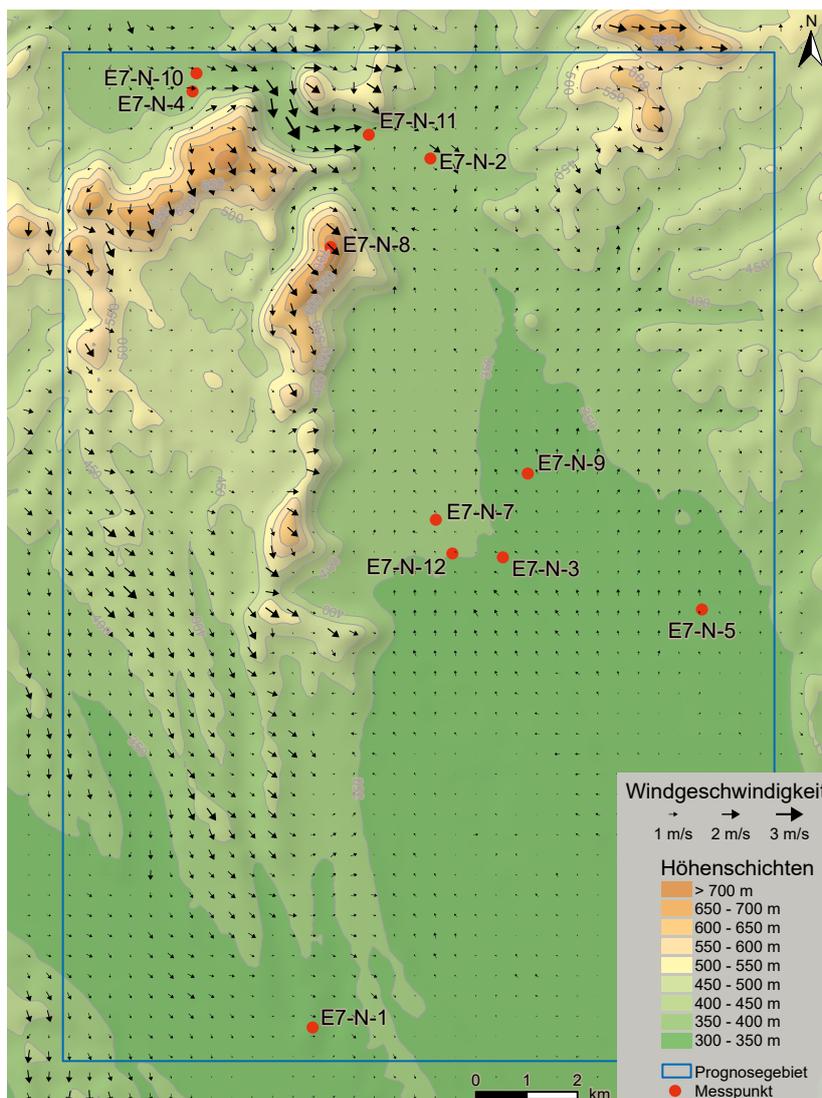


Abb. 2: Berechnetes Windfeld in 10 m ü. Grund im Prognosegebiet nach einer Simulationszeit von einer Stunde mit der Lage der Messstandorte E7-N-1 bis E7-N-11

# EINFLUSS DES HBEFA4.1 AUF DIE MODELLIERUNG DER NO<sub>2</sub>-IMMISSIONEN - ERFAHRUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Ein wesentliches Ziel bei der Überarbeitung des HBEFA4.1 (UBA 2019 [1]) war es, die bisherige Unterschätzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen (in Version 3.3 und frühere) nunmehr durch Berücksichtigung des Temperatureinflusses und einer Verbesserung der Modellierung von Alterungseinflüssen zu beseitigen. Modellrechnungen im Rahmen der Luftreinhalteplanungen, in denen die Emissionen aus dem HBEFA 4.1 in bestehende, bisher mit HBEFA 3.3 betriebene Modelle eingefügt wurden, ohne andere Modellparameter anzupassen, ergaben häufig Überschätzungen der NO<sub>2</sub>-Immissionen. Dies ist an Belastungsschwerpunkten besonders ausgeprägt. Deshalb sollten im Auftrag des Umweltbundesamtes (Forschungskennzahl 146606) detaillierte mikroskalige Modellrechnungen mit MISKAM sowie im Vergleich dazu Screeningberechnungen mit PROKAS für die Zeppelinstraße in Potsdam für die Bezugsjahre 2015, 2018 und 2019 durchgeführt werden, weil hier eine sehr gute Datenlage, insbesondere hinsichtlich des Verkehrsflusses (mobile Messfahrten), der Verkehrsstärken (Verkehrszählungen) und der KFZ-Flottenzusammensetzung (Kennzeichenerfassungen) sowie meteorologischer Daten, vorlag. Die Ergebnisse dieser Untersuchung können wie folgt zusammengefasst werden:

Der Fahrzyklus HVS50 LOS1 in HBEFA 4.1 ist auf mehreren Streckenabschnitten der Zeppelinstraße zu ungünstig. Dies betrifft hier einen gut LSA-koordinierten Straßenzug bei ausreichender Kapazität der Straße. Die höhere Anzahl der Brems- und Beschleunigungsevents in LOS 1 (flüssig) in HBEFA 4.1 bewirkt hier eine Überschätzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen nach HBEFA. Ein adäquater Fahrzyklus (LOS) in HBEFA 4.1 („besser als flüssig“) fehlt. Bei Einsatz eines Kapazitätsmodells oder des Fundamentaldiagramms oder qualitativer Einschätzungen der Verkehrssituationen würde das nicht „erkannt“ werden. Empfehlung: Es sollte bei der Festlegung der LOS

deshalb immer beachtet werden, ob der lokale Verkehrsfluss tatsächlich durch die in HBEFA 4.1 hinterlegten Fahrzyklen repräsentativ abgebildet werden kann. Ggf. ist mit Reduktionsfaktoren zu arbeiten.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigten auf, dass bei optimaler Datenlage und Anwendung des dreidimensionalen prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodells MISKAM mit HBEFA 4.1 die NO<sub>x</sub>-Zusatzbelastung für das Jahr 2015 um 16 % unterschätzt und für die Jahre 2018 und 2019 um 16 % bzw. 15 % überschätzt werden (siehe **Tab. 1**). Eine Ursache für die Überschätzungen 2018 und 2019 könnte ggf. in der im HBEFA 4.1 nicht vorhandenen Berücksichtigung der Wirkung der freiwilligen Softwareupdates und/oder höherer Wirkungen der verpflichtenden Softwareupdates zu finden sein. Für Emissionsberechnungen aktueller Bezugsjahre muss also der Einfluss der freiwilligen und der verpflichtenden Softwareupdates auf die NO<sub>x</sub>-Emission über den bisherigen Ansatz in HBEFA 4.1 hinaus bekannt sein. Solange hierzu keine abschließenden und offizielle Vorgaben des UBA vorlagen, wurde von uns - in Absprache mit dem UBA - deshalb vorgeschlagen, für aktuelle Bezugsjahre einen pauschalen Abschlag auf die NO<sub>x</sub>-PKW-Emissionen von 10 % anzusetzen.

Nunmehr veröffentlichte das UBA den Bericht zur „Ermittlung von Emissionsfaktoren für Diesel-Pkw mit Softwareupdate (EFA-SU)“ [3]. Auf dieser Basis werden

Empfehlungen zur Nutzung von Minderungsfaktoren für Stickstoffoxid-Emissionen von Pkw mit Dieselmotor der Abgasnormen Euro 5 und Euro 6 in Folge von Softwareupdates gegeben: Demnach wird über die bisher im HBEFA 4.1 berücksichtigten Diesel-Pkw mit dem Motortyp EA 189 hinaus eine Minderung von 42 Prozent für Diesel-Pkw Euro 5 und 49 Prozent für Diesel-Pkw Euro 6a/b empfohlen. Die Gesamtzahl der Fahrzeuge, die mit einem freiwilligen Softwareupdate ausgerüstet werden, wird mit 600 000 Euro-5 und 1 Mio. Euro-6-Fahrzeuge angenommen, wobei sich der Prozess der Softwareupdates über den Zeitraum 2019 bis 2022 erstreckt. Bis zur vollständigen Implementierung der Ergebnisse in HBEFA 4.2 (vorr. 4. Quartal 2021) werden wir die UBA-Empfehlungen in unserer gutachterlichen Arbeit berücksichtigen.

## Literatur:

[1] UBA (2019): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 4.1. (HBEFA 4.1) (aktualisierte Version vom 03.11.2019). Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit MKC Consulting GmbH und IVT/TU Graz. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau-Roßlau.

[2] Düring et al. (2011): A new simplified NO/NO<sub>2</sub> conversion model under consideration of direct NO<sub>2</sub>-emissions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20 067-073 (February 2011)

[3] UBA (2021) <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-von-emissionsfaktoren-fuer-diesel-pkw>

**Ansprechpartner:** Dr. rer. nat. I. Düring

Jahr	Bemerkung	Abweichung NO <sub>2</sub> -ZB	Abweichung NO <sub>2</sub> -GB	Abweichung NO <sub>x</sub> -ZB	Abweichung NO <sub>x</sub> -GB
2015	Tempo 50, 4 Fahrstreifen	-13 %	-7 %	-16 %	-12 %
2018	Tempo 30, 3 Fahrstreifen	10 %	5 %	16 %	11 %
2019	Tempo 30, 3 Fahrstreifen	16 %	8 %	15 %	10 %

Tab. 1: Relative Abweichungen des MISKAM-Rechenwertes nach HBEFA4.1 und NO-NO<sub>2</sub>-Konversion nach Düring et al. (2011) [2] mit halbierten NO<sub>2direkt</sub>-Anteilen von den Messwerten an der Messstelle Potsdam Zeppelinstraße (2.6 m über Grund)