

Emissionsmessungen im laufenden Verkehr in Frankfurt/M: Einsatzmöglichkeiten von Remote Sensing Systemen und detaillierte Validierung von HBEFA 4.1

Jens Borken-Kleefeld^a, Volker Diegmann^b, Peter Mock^c, Sandra Wappelhorst^c, Uwe Tietge^c, Stefan Hausberger^d, Christiane Vitzthum von Eckstädt^e

^a Professur für Verkehrsökologie, Technische Universität Dresden

^b IVU Umwelt, Freiburg

^c International Council on Clean Transportation, Berlin

^d Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme, Technische Universität Graz

^e Umweltbundesamt, Dessau

Zusammenfassung

Soll die Schadstoffbelastung an einem verkehrlichen Hotspot gemindert werden, dann werden häufig Emissionsmodelle wie das Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA) zur Planung möglicher Maßnahmen eingesetzt. Daher ist es wichtig, diese Modelle möglichst gut zu validieren, um zuverlässige Aussagen erhalten zu können.

Die Remote Sensing (RS) Messtechnik bietet die Möglichkeit, die Schadstoffemissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge direkt im fließenden Verkehr zu messen. In einem umfangreichen UBA Projekt wurden im Frühjahr und Herbst 2020 zwei kommerzielle Remote Sensing Messsysteme an verschiedenen Straßen in Frankfurt am Main eingesetzt. Die gemessenen Emissionen wurden mit den Emissionsfaktoren nach HBEFA 4.1 verglichen, die für die jeweiligen Fahrsituationen und angepassten lokalen Flotten und Temperaturen berechnet wurden. Dadurch konnten erstmals viele Annahmen für das HBEFA 4.1 durch direkte Flottenmessungen für Pkw validiert werden. Der Fokus der Darstellung hier liegt auf den NO_x-Emissionen der Diesel-Pkw; die Emissionen der anderen Schadstoffe und von Otto-Pkw sind im Allgemeinen im Bereich der jeweiligen Typprüfgrenzwerte, angepasst um eine etwaige Alterung (vgl. Chen & Borken-Kleefeld 2016; Sintermann et al., 2020). Außerdem werden die Ergebnisse mit Remote Sensing Messungen aus dem Herbst 2019 in Berlin verglichen (Rauterberg-Wulf et al., 2021).

Bei den Remote Sensing Messungen und auch in der Modellierung sind die durchschnittlichen NO_x-Emissionen in Berlin um bis zu 50% höher als in Frankfurt/M (Abbildung 1, links). Die Unterschiede sind in erster Linie auf die Umgebungstemperaturen zurückzuführen, weil bei kalten Temperaturen, wie bei der Messkampagne in Berlin, die Abgasreinigung durch die Hersteller heruntergeregelt wird; in zweiter Linie gehen die Unterschiede auf Fahrbedingungen und Alterseffekte zurück. Das belegt sehr deutlich, wie wichtig es für eine adäquate Modellierung ist, die lokalen Verhältnisse zu abbilden. Die Emissionen in Berlin werden je Fahrzeugschicht (Euro-Stufe) sehr gut mit HBEFA reproduziert, während die entsprechenden Emissionen in Frankfurt leicht überschätzt werden. Ev. gehen die geringeren Emissionen der Euro 5/6b Fahrzeuge auf die Wirkung eines zwischenzeitlichen Software updates zurück. Bei beiden Messungen sind die Emissionen der Euro 6d-TEMP Fahrzeuge bereits niedrig, allerdings deutlich höher als in der HBEFA 4.1 Modellierung. Dies könnte u.a. auf einen erheblichen Beitrag von Fahrzeugen mit nicht betriebswarmer („kalter“) Abgasreinigung im städtischen Bereich hindeuten; dies sollte weiter beobachtet werden.

Die NO_x-Emissionen werden ferner für jede Fahrzeugschicht nach der Motorlast differenziert und zwischen Messung und Modellierung verglichen. Die Motorlast wird als sogenannte vehicle specific power (VSP) gemessen, die aus der Fahrwiderstandsgleichung mit der gemessenen Längsneigung, Geschwindigkeit und Beschleunigung berechnet wird.

Beispielhaft werden hier die in Frankfurt gemessenen Euro 6b Diesel Pkw mit den Werten nach HBEFA 4.1 über verschiedene Motorlasten verglichen (Abbildung 1, rechts).

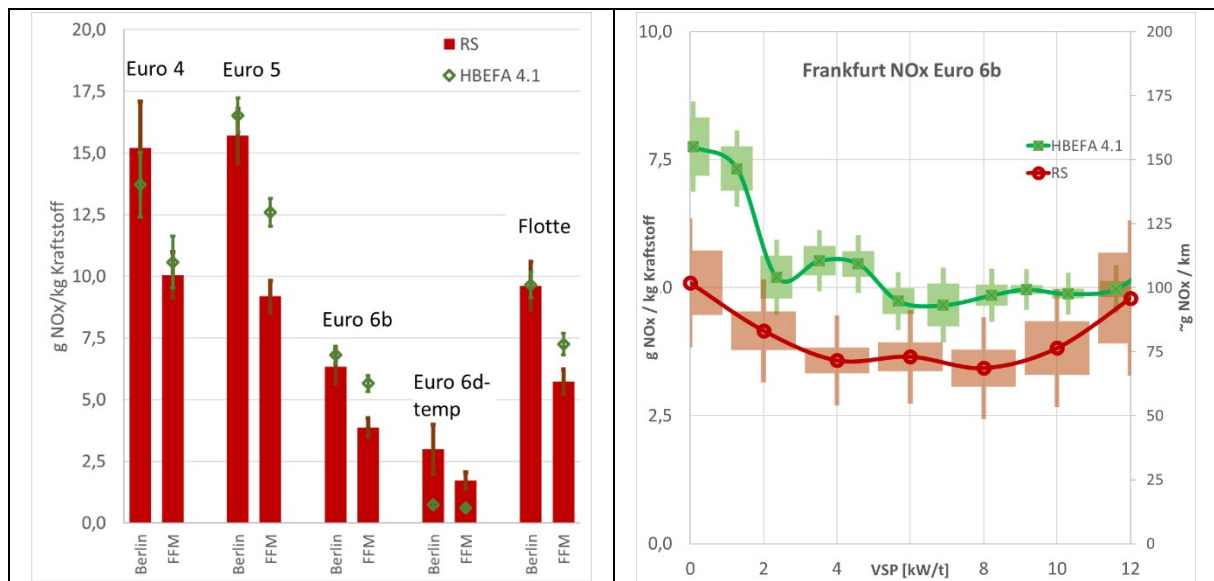


Abbildung 1: NO_x-Emissionen von Diesel Pkw in Berlin und Frankfurt (nur Daten von OPUS RSD 5000) und Emissionen nach HBEFA 4.1: Links, differenziert nach Euro-Stufe und dem Mittel der Diesel-Pkw; rechts für Euro 6b Pkw differenziert nach Motorlast (VSP = Vehicle specific power).

Über ein typisches Innerorts-Lastspektrum von 0 und 12 kW/t verlaufen die gemessene und die im Modell hinterlegte Emissionskurve nahezu parallel zueinander. Das ist wichtig, weil damit bestätigt werden kann, dass die Emissionsmodellierung mit der Messung auch an ganz unterschiedlichen Fahrbedingungen zusammenpasst. Der offset in der absoluten Höhe lässt sich leicht durch eine Re-Skalierung korrigieren; beim Vergleich von Massnahmen oder unterschiedlichen Fahrsituationen, z.B. mit oder ohne Tempolimit, würde er sich bei der Differenzbildung (vorher – nachher) ohnehin herauskürzen.

Durch diese und weitere detaillierte Vergleiche konnten Verbesserungen ins HBFA 4.2 eingebracht werden. Dazu gehören die Annahmen zu den direkten NO₂-Emissionen, die eine deutliche Abhängigkeit vom Fahrzeugalter zeigen. Außerdem zeigen die RS-Messungen, dass die NO_x-Emissionen zwischen den Herstellern deutlich variieren können. Daher trifft etwa ein durchschnittlich europäischer Markenmix, wie standardmäßig im HBEFA angenommen, die Realität nicht immer gut. Die genannten Unterschiede werden mit zunehmender Durchdringung der neuesten Euro 6d Fahrzeuggeneration allerdings weniger wichtig. Dagegen steigt der Einfluss der (wenigen) Fahrzeuge mit nicht wirksamer Abgasreinigung stark. Demzufolge sollte größere Aufmerksamkeit deren Identifikation zwecks Korrektur bzw. auf der Erhebung der Eingangsgrößen für eine gute Modellierung gelegt werden.

Unterschiede zu dem zweiten kommerziellen Gerät (HEAT) konnten nicht vollständig geklärt werden. Hier sind weitere Untersuchungen und eine bessere Erhebung der Eingangsdaten angeraten. **Für interessierte Kommunen wurden Einsatzmöglichkeiten und Randbedingungen für Remote Sensing Messungen zusammengefasst; der Leitfaden wird beim Umweltbundesamt Dessau erhältlich sein.**

Referenzen

- Chen, Y., Borken-Kleefeld, J. (2016): NO_x emissions from diesel passenger cars worsen with age. *Environmental Science & Technology* (50) 2016, 3327-3332.
- Rauterberg-Wulff, A., Schmidt, W., Düring, I., & Borken-Kleefeld, J. (2021). Bestimmung der Real-Emissionen von Kraftfahrzeugen im Berliner Straßenverkehr. *Immissionsschutz* (3)
- Sintermann, J., Alt, G-M., Götsch, M., Baum, F., Delb, V. (2020). Langjährige Abgasmessungen im realen Fahrbetrieb mittels Remote Sensing. Kanton Zürich / Baudirektion / Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 12. Dez. 2020.