

Meteorologische Einflüsse auf Partikelkonzentrationsunterschiede zwischen einer Straßenschlucht und einem angrenzenden Hinterhof - Messung und Modellierung

Dr. **S. Weber**, Dipl.-Umweltwiss **T. Litschke**
Universität Duisburg-Essen, Institut für Geographie, Abteilung Angewandte
Klimatologie

Prof. Dr. **K. Weber**, Dipl.-Ing. **C. Fischer**, Dipl.-Ing. **G. van Haren**
Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik,
Abteilung Umweltmesstechnik

Kurzfassung

Unterschiede in der Partikelanzahl- und massenkonzentration zwischen einer stark befahrenen Straßenschlucht (N-S Exposition, ca. 50.000 Kfz 24 h⁻¹) und einem angrenzenden Hinterhof wurden mittels kontinuierlicher Messungen mit optischen Partikelzählern untersucht. Die Untersuchungsergebnisse wurden zudem mit dem numerischen Stadtklimamodell ENVI-met verifiziert.

Im Beobachtungszeitraum zeigte die Straßenschlucht aufgrund erhöhter Emission und Resuspension von Partikeln im Mittel ein um 30% (PM₁₀) bzw. 22 % (PM₁) höheres Konzentrationsniveau im Vergleich zum Hinterhof. Die dynamischen Aspekte der Partikelausbreitung wurden übereinstimmend vom Stadtklimamodell wiedergegeben. Bei der Untersuchung der Konzentrationsunterschiede stellten sich jedoch Abweichungen ein, die in den unterschiedlichen Beobachtungszeiträumen sowie der einfachen Implementierung der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs sowie der Partikelgrößenverteilung begründet sein können.

1. Einleitung

Bodennahe Partikelkonzentrationen sind aufgrund der hohen Anzahl von Emissionsquellen in Stadtgebieten sowie unterschiedlicher Quellenstärken einer ausgeprägten raum-zeitlichen Variabilität unterlegen. Obwohl bereits Untersuchungen zur Variabilität von Partikelkonzentrationen auf verschiedenen innerstädtischen Maßstabsebenen vorliegen [1, 2], existieren bisher keine Erkenntnisse über Konzentrationsunterschiede zwischen einer stark befahrenen Straßenschlucht und angrenzenden Hinterhöfen. Diese werden in der Literatur jedoch als bioklimatisch sowie lufthygienisch begünstigt beschrieben [3]. Für gasförmige

Spurenstoffe konnten beispielweise deutlich verminderte Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich zu einer angrenzenden Straßenschlucht nachgewiesen werden [4].

2. Untersuchungsgebiet und Methodik

Die Untersuchungen wurden im Bereich der Corneliusstraße in Düsseldorf, NRW, durchgeführt. Die Corneliusstraße ist N-S exponiert und durch eine Verkehrsintensität von rund 50 000 Kfz 24 h⁻¹ charakterisiert [siehe 5 für Details zum Untersuchungsgebiet]. Der rund 400 m² umfassende Hinterhof grenzt östlich an die Straßenschlucht. Aufgrund der geringen Anzahl an Fahrzeugbewegungen (< 10 pro Tag) sind Partikelemissionen im Hinterhof vernachlässigbar.

Im Zeitraum vom 20. September bis 14. November 2006 wurden die Partikelkonzentrationen in der Straßenschlucht (STR 3,2 m ü. Gr.) sowie in zwei Höhen ü. Gr. im Hinterhof (HIN_u 3,8 m ü. Gr., HIN_o 13 m ü. Gr.) mittels optischer Partikelzähler erfaßt.

Modellierung mit dem Stadtklimmodell ENVI-met

Die Partikelausbreitung im Untersuchungsgebiet wurde mit dem Stadtklimamodell ENVI-met simuliert [6]. ENVI-met ist ein nicht-hydrostatisches, dreidimensionales, mikroskaliges Stadtklimamodell, das in der Vergangenheit bevorzugt zur Modellierung human-biometeorologischer Größen zum Einsatz kam. Die Gebäudestrukturen konnten aufgrund der Gitterzellengröße von 2,5 x 2,5 m mit guter Genauigkeit aufgelöst werden. Meteorologische Randbedingungen der Simulation waren an die Ergebnisse der Messkampagne angelehnt. Aufgrund der zeitintensiven Berechnung einzelner Modellläufe wurde die Simulation für die vorliegende Untersuchung auf zwei einzelne Situationen (Anströmung des Untersuchungsgebietes aus E = 90° sowie aus W = 270°) beschränkt.

Das Partikelmodell (PPDM) in ENVI-met wurde mit einem charakteristischen Tagesgang der Verkehrsintensität an der Corneliusstraße sowie einem mittleren Emissionsfaktor für Verkehr von 100 mg km⁻¹ Kfz⁻¹ implementiert [7]. Die Berechnung der Gesamtmassenkonzentration erfolgte als Summe der von ENVI-met modellierten Verkehrsemissionen und dem Jahresmittelwert PM₁₀ einer städtischen Hintergrundstation (D-Lörick, horiz. Entfernung zum Untersuchungsgebiet rund 3,5 km). Die PM₁ Konzentration wurde über ein konstantes PM₁/PM₁₀ Verhältnis von PM₁/PM₁₀ = 0,56 berechnet. ENVI-met rechnet jedoch nicht mit Aerosolgrößenverteilungen, sondern mit diskreten Partikelgrößen (z.B. 10 µm oder 1 µm).

3. Ergebnisse und Diskussion

Aufgrund der deutlich geringeren Partikelemission im Bereich des Hinterhofes ist die Straßenschlucht im Mittel des Messzeitraumes von rund 30 % höheren PM_{10} -Konzentrationen sowie 22 % höheren PM_1 -Konzentrationen gekennzeichnet (siehe Bild 1).

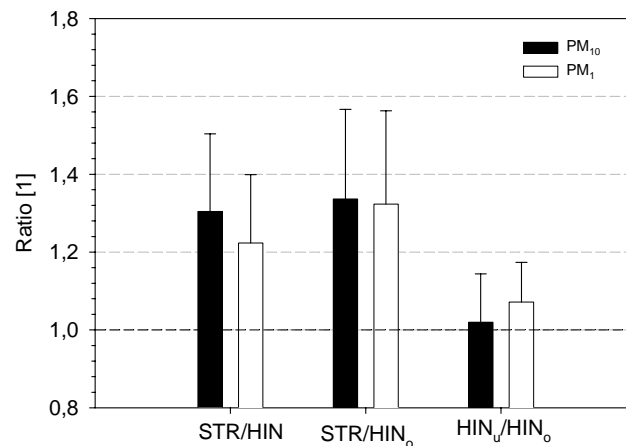


Bild 1: Mittlere Verhältnisse der Partikelkonzentrationen zwischen den verschiedenen Messstellen im Zeitraum vom 20. September bis 14. November 2006. Die Fehlerbalken geben die Standardabweichung an.

Im Vergleich zu den Messungen im Dachniveau (HIN_u) vergrößern sich beide Verhältniswerte infolge höherer turbulenter Durchmischung und Verdünnung im Bereich des Dachniveaus. Die vertikale Gliederung in HIN ist durch ein Verhältnis nahe 1 für PM_{10} sowie einer um 7 % höheren mittleren PM_1 -Konzentration im Bodenniveau charakterisiert. Die windgeschützte Lage im Bereich von HIN_u favorisiert die Akkumulation feiner Partikel [vgl. 8].

Im Tagesgang zeigen sich im Vergleich zwischen STR und HIN deutliche Konzentrationsunterschiede für beide Partikelfraktionen. Die Messungen von PM_{10} ergaben Konzentrationsanstiege von 10-15% während morgendlicher bzw. abendlicher Rush-Hour (Bild 2).

Der zeitliche Verlauf der Konzentrationsanstiege wird vom Modell sehr ähnlich wiedergegeben, die absoluten Konzentrationen bewegen sich jedoch auf unterschiedlichen Niveaus.

Die in [5] untersuchten mikrometeorologischen Einflüsse auf die sich einstellenden Konzentrationsunterschiede zwischen STR und HIN können hier aufgrund des begrenzten Umfangs nicht wiedergegeben werden. Die Modelluntersuchungen zeigten jedoch, dass beispielsweise der Einfluss der Rotorzirkulation bei Queranströmung der Straßenschlucht vom Modell aufgelöst wird.

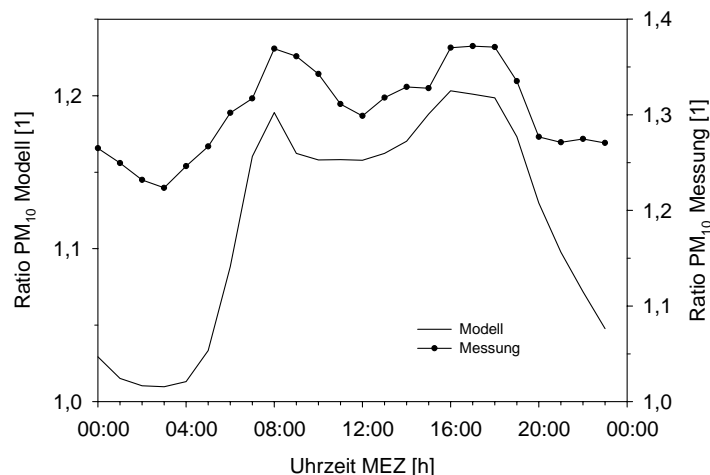


Bild 2: Tagesgänge des Konzentrationsverhältnisses STR/HIN_u für PM₁₀. Die Abbildung zeigt den mit ENVI-met modellierten Tagesgang sowie die mittleren gemessenen Werte.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, dass ENVI-met gute Ergebnisse bei den dynamischen Aspekten, z.B. der Partikelausbreitung, liefert. Bei Betrachtung der Konzentrationsunterschiede zeigten sich jedoch Abweichungen, die teilweise auf die recht grobe Implementierung der Verkehrsemissionen bzw. der Aerosolgrößenverteilung im Partikelmodell sowie unterschiedlich lange Beobachtungszeiträume zurückzuführen sein dürften. Zur genaueren Untersuchung der Abweichung der absoluten Massenkonzentrationen sind weitere Untersuchungen notwendig.

Die Autoren bedanken sich für eine finanzielle Unterstützung der Messkampagne seitens der Stadt Düsseldorf.

- [1] Harrison, R.M. et al., 2001. Studies of the coarse particle (2.5-10 µm) component in UK urban atmospheres. *Atmospheric Environment*, 35(21): 3667-3679.
- [2] Hueglin, C. et al., 2005. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 39(4): 637-651.
- [3] Popp, P., 1996. Measurements of the air pollution at a street intersection and the surrounding neighbourhood in the city of Leipzig. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 56(7-8): 295-299.
- [4] Bauer, E. and Alexander, J., 1996. Lufthygiene und klimatologische Messungen in Innenhöfen der Stadt Trier, 3. Fachtagung BIOMET, 4.-5.12.1996. *Annalen der Meteorologie*, 33, Munich, pp. 21-26.
- [5] Weber, S. and Weber, K., 2008. Coupling of urban street canyon and backyard particle mass and number concentrations. *Meteorologische Zeitschrift*: (accepted).
- [6] Bruse, M., 2007. Particle filtering capacity of urban vegetation: A microscale numerical approach in Endlicher, W. et al.: Tagungsband zum Workshop über den wiss. Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen, Berlin 1.Juni 2007 (=Berliner Geographische Arbeiten 109), p. 61-70
- [7] Düring, I., A. Moldenhauer, E. Nitzsche, M. Stockhausen, A. Lohmeyer, 2004: Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen, Arbeitspakete 1 und 2, Endbericht. Karlsruhe. - Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG.
- [8] Weber, S., Kuttler, W. and Weber, K., 2006. Flow characteristics and particle mass and number concentration variability within a busy urban street canyon. *Atmospheric Environment*, 40(7565-7578).