

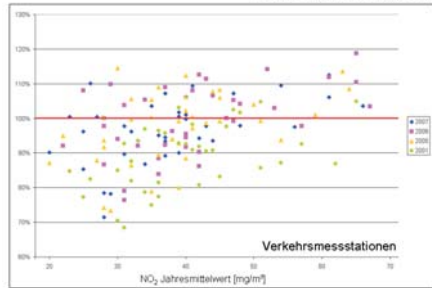
NO₂-Modellierung im Straßenraum

Volker Diegmann, Florian Pfäfflin, IVU Umwelt GmbH, Freiburg, vd@ivu-umwelt.de

Probleme statistischer Verfahren

Für Abschätzungen des NO₂-Jahresmittelwertes mit Modellen, die Photochemie nicht explizit berücksichtigen, werden zur Zeit vorwiegend statistische Verfahren angewendet. Solche statistischen Ansätze bieten bisher nicht die Möglichkeit, sich zeitlich ändernde Einflussgrößen auf die NO₂-Konzentrationen im Straßenraum zu berücksichtigen. Aktuelle Messungen der NO₂-Belastung im Bundesgebiet zeigen, dass diese Ansätze das Problem nicht mehr adäquat beschreiben. Für den Romberg-Ansatz (Romberg, et al., 1996) ist nebenstehend zu erkennen, dass bei einem niedrigen NO₂-Niveau eher überschätzt wird (Verhältnis < 100 %), während bei höheren Konzentrationen unterschätzt wird.

Vergleich Romberg mit Messungen < 100%: Romberg überschätzt
> 100%: Romberg unterschätzt



Es ist für vier ausgewählte Jahre das NO₂/NO_x-Verhältnis der Messungen ins Verhältnis gesetzt zum Romberg-Ansatz in Abhängigkeit des NO₂-Jahresmittelwerts an Verkehrsmessstationen dargestellt.

Nach derzeitigem Kenntnisstand haben vor allem folgende Faktoren einen großen Einfluss auf die NO₂-Belastung:

- Anteil direkt emittierter NO₂-Kfz-Emissionen
- vorherrschendes Ozon-Konzentrationsniveau

Photochemisches Gleichgewicht (PCE) in CPB

Im Straßenraum laufen in der für die Ausbreitung relevanten Zeitskala im Wesentlichen drei Reaktionen ab:

- Photolyse des NO₂ in NO und Sauerstoffatom bei Strahlung mit Wellenlänge < 410 μm mit der NO₂-Photolysefrequenz J
- Rekombination von Sauerstoffatom mit O₂ zu Ozon
- Ozonabbau durch NO in NO₂ und O₂ mit der Reaktionskonstante k

$$\frac{J}{k} = \text{PCE} = [\text{O}_3] \cdot \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{NO}_2] \cdot [\text{O}_2]}$$

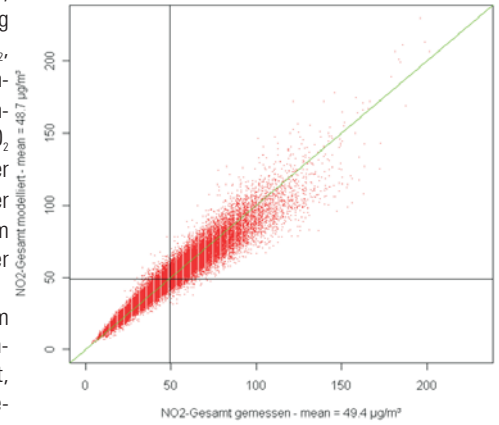
mit J = NO₂-Photolysefrequenz
k = Reaktionskonstante
R = Überdachkonzentration (rooftop)

Als Folge stellt sich in kürzester Zeit ein photostationäres Gleichgewicht ein, das über die Größe PCE (Photochemical Equilibrium) beschrieben werden kann. PCE wird dabei als das Verhältnis von Reaktionskonstanten definiert und aus messbaren Größen abgeleitet.

Canyon-Plume-Box-Modell (CPB)

Das in stündlicher Auflösung arbeitende Canyon-Plume-Box-Modell (CPB) wurde ursprünglich für die Modellierung der Konzentrationsverteilung nicht-reaktiver Schadstoffe in Straßenräumen konzipiert (Wiegand, Yamartino, 1986). Für NO₂ wurde es um ein Modul erweitert, das, unter Berücksichtigung von direkt emittiertem NO₂, aus berechneten NO_x-Konzentrationen und Über-Dach-Konzentrationen von NO, NO₂ und O₃ eine Abschätzung der NO₂-Konzentrationen in der Straßenschlucht nach dem PCE-Ansatz in stündlicher Auflösung erlaubt.

Dieses Modell wurde z. B. im Rahmen von Untersuchungen in Hessen (IVU Umwelt, 2005) und zum Luftreinhalteplan in Berlin (IVU Umwelt, 2008) eingesetzt.



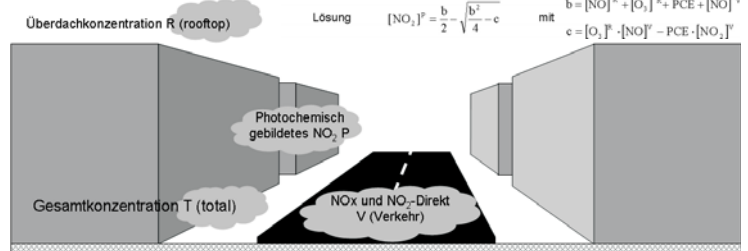
Stundenmittelwerte von mit dem CPB/PCE-Ansatz modellierten versus gemessenen NO₂-Gesamtkonzentration in der Frankfurter Allee (Berlin) von 2002 bis 2007
Mit R² = 89% bei Mean_{Modell} = 48,7 μg/m³ und Mean_{Messung} = 49,4 μg/m³

Für Konzentrationen im Straßenraum gilt:

$$[\text{NO}_2] = [\text{NO}_2]^R + [\text{NO}_2]^V + [\text{NO}_2]^P \quad \& \quad \frac{J}{k} = \text{PCE} = [\text{O}_3] \cdot \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{NO}_2] \cdot [\text{O}_2]}$$

Quadratische Gleichung $\frac{([\text{O}_3]^R - [\text{NO}_2]^R) \cdot ([\text{NO}]^R + [\text{NO}]^V - [\text{NO}_2]^R)}{[\text{NO}_2]^R + [\text{NO}_2]^V + [\text{NO}_2]^R} = \text{PCE}$

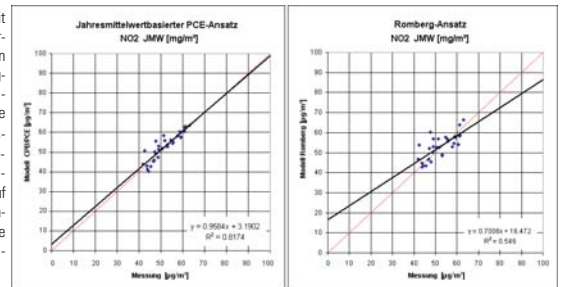
Lösung $[\text{NO}_2]^R = \frac{b}{2} - \sqrt{\frac{b^2}{4} - c}$ mit $b = [\text{NO}]^R + [\text{O}_3]^R + \text{PCE} \cdot [\text{NO}]^V$
 $c = [\text{O}_3]^R \cdot [\text{NO}]^R - \text{PCE} \cdot [\text{NO}_2]^R$



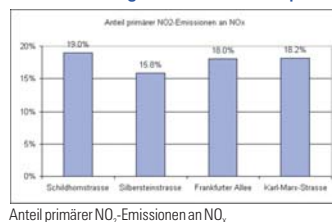
Abschätzung von NO₂-Jahresmittelwerten

Eine stündliche Modellierung bedeutet meist einen hohen datentechnischen, zeitlichen und/oder finanziellen Aufwand. Für den praktischen Einsatz ist daher eine verlässliche Abschätzung der NO₂-Belastung in Straßenräumen auf Jahresmittelwertbasis im Rahmen von Screening-Untersuchungen wünschenswert. CPB mit PCE ist in der Zeitskala der photochemischen Reaktionen definiert und damit theoretisch nicht einfach auf Jahresmittelwerte zu übertragen. Im Rahmen einer Untersuchung in Berlin wurde das Modell dennoch auf Jahresmittelwerte von Messdaten angewandt. Dabei wurde am Beispiel einer Messstation auf Jahresmittelwertbasis ein Verfahren zur parameterfreien Abschätzung der NO₂-Immission im Straßenraum unter Berücksichtigung der NO₂-Direktemissionen und vorhandener Messdaten entwickelt. Das Verfahren wurde anschließend für weitere Verkehrsstationen in Berlin und Sachsen angewendet. Ein Vergleich mit dem Romberg-Ansatz zeigt, dass die NO₂-Jahresmittelwerte mit dem jahresmittelwertbasierten PCE-Ansatz deutlich besser wiedergegeben werden.

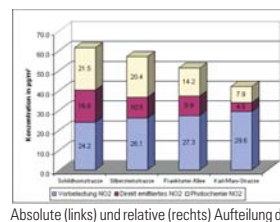
Gegenüberstellung der mit dem jahresmittelwertbasierten PCE-Ansatz modellierten und der mit dem Romberg-Ansatz statistisch abgeleiteten NO₂-Jahresmittelwerte im Vergleich mit NO₂-Messwerten aus Berlin und Sachsen. Die lineare Regressionsgerade von modellierten auf gemessene NO₂-Konzentrationen ist schwarz, die Winkelhalbierende rot eingezeichnet.



Aktualisierung des Luftreinhalteplans Berlin 2007



Anteil primärer NO₂-Emissionen an NO₂



Absolute (links) und relative (rechts) Aufteilung der NO₂-Konzentrationen an den Verkehrsmessstellen

