

# **Forschungsvorhaben „Ermittlung der NO<sub>2</sub>-Exposition von Kindern mit Hilfe statistischer Modelle unter Berücksichtigung der Verkehrs- und Wohnsituation“**

**Förderkennzeichen PUGL 97006**

## **Forschungsberichtsblatt der Projektträgerschaft BWPLUS**

### 3. Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Im Auftrag des Forschungszentrums Karlsruhe führte das Umweltbundesamt in den Jahren 1998 – 2000 ein F&E-Vorhaben durch mit dem Ziel, ein Simulationsmodell zur Abschätzung der NO<sub>2</sub>-Exposition von Kindern in Abhängigkeit von ihrer individuellen Wohnsituation und der Belastung der Außenluft im Wohnumfeld durch verkehrsbedingte NO<sub>2</sub>-Immissionen zu entwickeln. Dieses Modell wurde zur Verwendung in epidemiologischen Studien konzipiert und kann daher nicht nur raumbezogene Messdaten zur Eingabe verarbeiten, sondern auch Angaben aus Fragebögen bei größeren Probandenkollektiven berücksichtigen, z.B. Angaben zu individuellen Verhaltensweisen innerhalb der Wohnungen und zum individuellen Aufenthalt im Freien.

Basis für dieses Modell waren Mess- und Fragebogenergebnisse aus dem Forschungsvorhaben "Trends und Risikofaktoren von Asthma und allergischen Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland", das in das ISAAC-Programm (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) eingebunden war (s. KEIL et al., 1996). Im Rahmen dieses Projektes waren in den Städten Dresden und München in den Jahren 1995 bis 1997 jeweils 3000 Kinder im Grundschulalter u.a. zur Häufigkeit von Atemwegserkrankungen untersucht und die Eltern befragt worden. Bei einem Unterkollektiv von je 300 Kindern wurde zusätzlich die Schadstoffbelastung untersucht, und bei einem weiteren Unterkollektiv von je 30 Kindern wurden zusätzlich Messungen der NO<sub>2</sub>-Konzentration an den Wohnungen und innerhalb der Wohnungen durchgeführt. Um anhand der Angaben in den Fragebögen auf alle insgesamt rd. 6000 Probanden hinsichtlich ihrer Belastung durch NO<sub>2</sub> rückschließen zu können, wurde ein Instrument benötigt, das aus vorhandenen Routinemessungen und Fragebogenangaben NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Innenraumluft und in der Außenluft zu berechnen und daraus individuelle NO<sub>2</sub>-Expositionen abzuschätzen in der Lage ist.

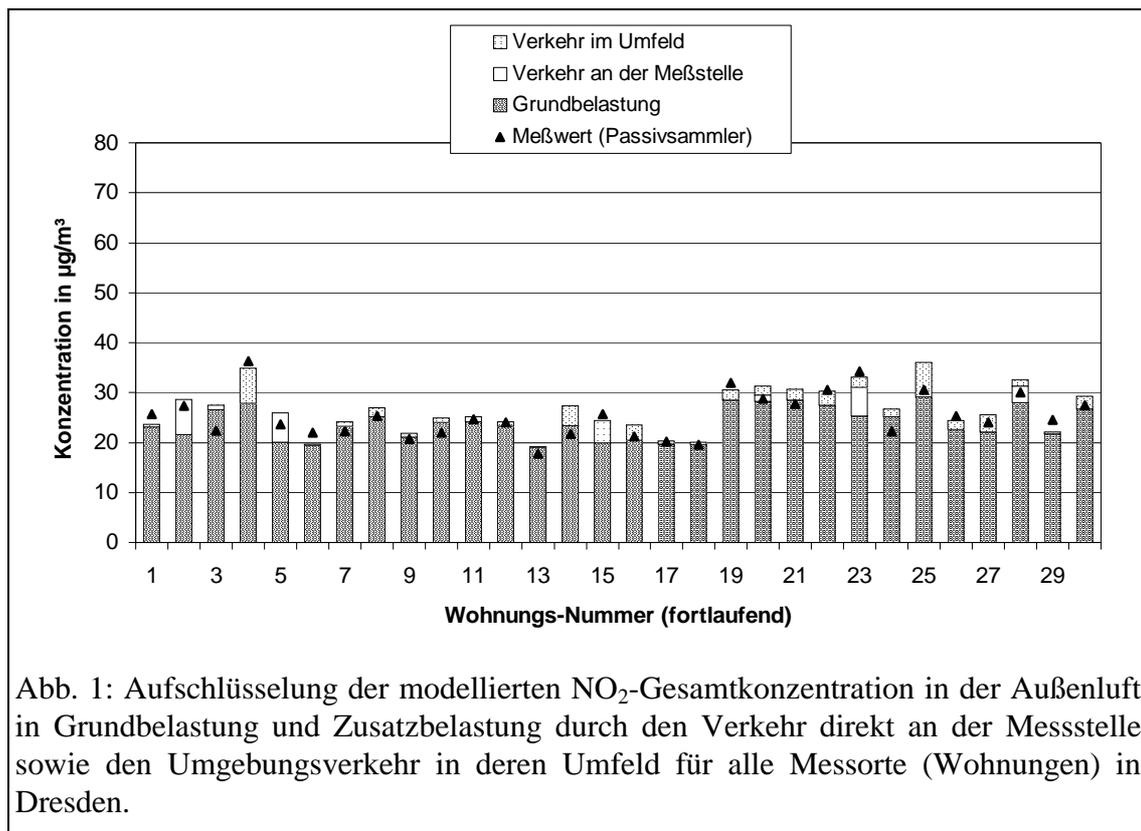
Das hierzu entwickelte Modell besteht aus drei Teilen: Zum einen wird die NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Außenluft an der Wohnung und im Stadtteil berechnet (HEHL & WINTERMEYER, 2000). Weiterhin wird die Konzentration in der Wohnung der Probanden mit dem von HEHL & WINTERMEYER (1999) vorgestellten Teilmodell berechnet. In dem Expositionsmodul des Modells wird schließlich die individuelle Exposition der Kinder gegenüber NO<sub>2</sub> (pro Zeiteinheit) aus der NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Außenluft an der Wohnung sowie in der Raumluft der Wohnung berechnet. Da in den Fragebögen der ISAAC-Studie die Aufenthaltsdauer der Kinder nur im Straßenverkehr und nicht an anderen Stellen erfragt wurde, werden die aus dem Umwelt-Survey des Umweltbundesamtes (KRAUSE & SCHULZ, 1998) übernommenen durchschnittlichen Aufenthaltszeiten im Freien und in Innenräumen direkt mit den beiden im Modell ermittelten Konzentrationen verknüpft.

Die Datenauswertung ergab, dass (trotz verhältnismäßig kurzer Aufenthaltszeiten im Freien) die Gesamt-Exposition der Kinder sehr stark von der NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Außenluft im Nahbereich der Wohnungen abhängt, da diese im Mittel einen wesentlichen Beitrag zur der NO<sub>2</sub>-Bilanz innerhalb der Wohnung liefert (HEHL & WINTERMEYER, 1999). Der Modellierung der

NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Außenluft kommt daher innerhalb des Gesamtmodells besondere Bedeutung zu.

Die Grundbelastung durch NO<sub>2</sub> innerhalb einer Stadt errechnet sich aus der regionalen Hintergrundbelastung, entsprechend der Konzentration im weitgehend unbeeinflussten Umland. Hinzu kommt eine diffuse städtische Zusatzbelastung durch Hausbrand, Industrie und Verkehr im weiteren Umfeld des Messortes. Sofern direkt an einem Messort zusätzlich nennenswerter Kfz.-Verkehr zu verzeichnen ist, so kann auch dieser einen bedeutsamen Anteil zur Gesamtbelastung durch NO<sub>2</sub> beitragen. Im Wesentlichen konnte mit Hilfe des Modells jedoch gezeigt werden, dass ein großer Teil der NO<sub>2</sub>-Belastung bereits auf die regionale Hintergrundbelastung und auf die Zusatzbelastung im städtischen Bereich zurückgeführt werden kann (s. exemplarisch für die Stadt Dresden Abb. 1; für München ergibt sich ein vergleichbares Bild). Straßen in der Nähe der Wohnungen tragen tatsächlich nur dann nennenswert zur NO<sub>2</sub>-Belastung bei, wenn sie ein sehr starkes Verkehrsaufkommen, vorzugsweise bei geschlossener Bauweise (Straßenschlucht), aufweisen und wenn die Entfernung zur Wohnung gering ist.

Das Innenraummodell musste als Ein-Raum-Modell konzipiert werden, da die vorliegenden Angaben aus den Fragebögen nicht ausreichten, um einen prinzipiell möglichen komplexeren Ansatz (Mehr-Raum-Modell) im Rahmen dieses Projekts verwirklichen zu können. Sowohl experimentelle Untersuchungen (z.B. SEIFERT et al., 1984) als auch eigene



Simulationsergebnisse zeigen aber, dass insbesondere durch die Emissionen aus Schadstoff-Quellen im Innenraum, aber auch beispielsweise durch unterschiedliche Fensterlüftung in einzelnen Räumen, erhebliche Konzentrationsunterschiede zwischen den verschiedenen Räumen einer Wohnung auftreten können. In Dresden und München betragen die NO<sub>2</sub>-Zusatzkonzentrationen in den Wohnungen, die auf das Rauchen von Zigaretten und das Verwenden von Gasherden und -öfen zurückzuführen sind, im Mittel 1 µg/m<sup>3</sup>; die Maximalwerte

liegen für beide Städte bei etwa  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wenn man jetzt berücksichtigt, dass es sich hierbei zum einen um Jahresmittelwerte und zum anderen um eine Mittelung über alle Räume der Wohnung handelt, wird deutlich, dass die  $\text{NO}_2$ -Konzentration kurzzeitig in einzelnen Räumen deutlich höher liegen muss. Dies ist von Bedeutung, wenn für die Wirkung von  $\text{NO}_2$  auf die menschliche Gesundheit eher die kurzzeitig auftretenden Spitzenbelastungen als z.B. die jährlichen Mittelwerte von Bedeutung sein sollten.

Aus der dargelegten Raum- und Zeitabhängigkeit der  $\text{NO}_2$ -Konzentrationen in der Wohnung folgt unmittelbar, dass personenbezogene Expositionen der Wohnungsnutzer – selbst bei ansonsten gleicher Aufenthaltsdauer innerhalb der Wohnung – durch unterschiedliche Aufenthaltsdauern und -zeiten in den einzelnen Räumen deutlich differieren. Diese Unterschiede treten um so stärker hervor, wenn Emission und Aufenthalt systematisch miteinander gekoppelt sind, wie es z.B. bei den Emissionen des Gasherdes beim Kochen und dem Aufenthalt in der Küche für die kochende Person der Fall ist.

Es konnte gezeigt werden, dass mit dem entwickelten Modell, das teils statistische Methoden verwendet, teils aber auch physikalische Mechanismen berücksichtigt, insbesondere für den Bereich der Außenluft eine sehr gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messergebnissen für die  $\text{NO}_2$ -Konzentration im Jahresmittel – und nur dieser Mittelungszeitraum wurde im Rahmen des Projekts betrachtet – erzielt werden. Die Modellansätze benötigen nur einen sehr reduzierten Eingabedatensatz und sind damit grundsätzlich für den Einsatz in epidemiologischen Fragestellungen geeignet. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die in den epidemiologischen Studien (zumeist per Fragebogen) erhobenen Daten möglichst direkt in die entsprechenden Modelleingabedaten überführt werden können.

In dem Projekt hat sich gezeigt, dass für die Kinder die Höhe der individuellen Exposition ganz wesentlich durch die  $\text{NO}_2$ -Konzentration in der Außenluft bestimmt wird.

**Hehl, O., D. Wintermeyer, 1999:** Ermittlung der  $\text{NO}_2$ -Exposition von Kindern mit Hilfe statistischer Modelle unter Berücksichtigung der Verkehrs- und Wohnsituation. Bericht im Rahmen des Statusseminars des Forschungszentrums Karlsruhe am 10.03.1999.

**Hehl, O., D. Wintermeyer, 2000:** Ermittlung der  $\text{NO}_2$ -Exposition von Kindern mit Hilfe statistischer Modelle unter Berücksichtigung der Verkehrs- und Wohnsituation: Modellierung der  $\text{NO}_2$ -Konzentration in der Außenluft. Bericht im Rahmen des Statusseminars des Forschungszentrums Karlsruhe am 01.03.2000.

**Keil, U., S.K. Weiland, H. Duhme, L. Chambless, 1996:** The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC): Objectives and methods; results from German ISAAC centres concerning traffic density and wheezing and allergic rhinitis. *Toxicology Letters*, **86**, 99-103.

**Krause, C., C. Schulz, 1998:** Aufenthaltszeiten der deutschen Bevölkerung im Innenraum, im Freien, im Straßenverkehr. *Umweltmed. Forsch. Praxis*, **3(4)**, 249.

**Seifert, B., K.-E. Prescher, D. Ullrich, 1984:** Auftreten anorganischer und organischer Substanzen in der Luft von Küchen und anderen Wohnräumen. *WaBoLu-Hefte* 2/1984. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin, 122 S.

#### 4. Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse?

Aus den Projektergebnissen sind zwei Punkte besonders herauszuheben:

- i. Mit Hilfe des entwickelten Außenluftmodells konnte ein vergleichsweise einfach zu handhabendes Instrument entwickelt werden, das die mittlere Konzentration von verkehrsbedingten Luftschadstoffen – hier am Beispiel von  $\text{NO}_2$  – in Abhängigkeit von

der Lage innerhalb von Stadtgebieten flächendeckend in guter Näherung abzuschätzen in der Lage ist. Die bislang verfügbaren Modelle sind entweder zu komplex, um sie auf ein ganzes Stadtgebiet anwenden zu können (z.B. Modelle zur Strömungssimulation wie MISKAM), oder sie betrachten vorzugsweise nur spezifische Straßenabschnitte wie Straßenschluchten mit beidseitig geschlossener Bebauung (z.B. das CPB – Canyon Plume Box-Modell), oder basieren ausschließlich auf rein statistischen Ansätzen wie das in den Niederlanden entwickelte CAR-Modell (Calculation of Air pollution from Road traffic), so dass die Übertragbarkeit auf andere Substanzen, andere Räume (Stadtgebiete) bzw. Zeiträume per se nicht gegeben ist. [Eine Übersicht über die große Palette verschiedenartiger Modelltypen in der Umweltmeteorologie ist zu finden unter: [http://www.stadtklima.de/webklima/DE/D\\_1tools.htm](http://www.stadtklima.de/webklima/DE/D_1tools.htm)].

- ii. Bis dato wurden auch in epidemiologischen Untersuchungen lediglich die Konzentrationen von Luftbeimengungen an bestimmten, in aller Regel ortsgebundenen Messstandorten als Parameter zur Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen herangezogen. Wegen des großen Aufwandes und der Belastung der Probanden war es nur selten möglich, personengebundene Messungen z.B. mittels Passivsammlern durchzuführen. Durch die individuell z.T. stark variierenden Verhaltensmuster der Menschen war daher in späteren statistischen Auswertungen im Rahmen derartiger Untersuchungen ein eindeutiger Nachweis von gesundheitlichen Wirkungen eines Luftschadstoffs – bzw. eines Schadstoffgemischs – recht schwierig zu führen. Durch das entwickelte Modellsystem konnte nunmehr ein Instrument geschaffen werden, das räumlich und zeitlich differenzierte Schadstoffkonzentrationen in der Außenluft und in Innenräumen zu berechnen vermag und diese mit den individuellen Verhaltensmustern der Probanden verknüpft. Hierdurch ist die Abschätzung der tatsächlichen individuellen Exposition gegenüber den klassischen ortsgebundenen Konzentrationsmessungen wesentlich verbessert worden. Dies sollte zwangsläufig auch die Qualität des Nachweises von Schadstoffbelastung und gesundheitlicher Wirkung verbessern. Und ferner kann ein Modell wie dieses natürlich nicht nur – wie geschehen – diagnostisch, sondern z.B. im Rahmen von Expositionsszenarien auch prognostisch eingesetzt werden: Wie wirkt sich eine individuelle Verhaltensänderung oder eine zeitlich/räumlich begrenzte Konzentrationsänderung auf die zu erwartende Exposition aus?

### 3. Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsbericht für die Praxis?

Mangels weiterführender Angaben in den Fragebögen über die Aufenthaltszeiten der Kinder speziell in erfahrungsgemäß stärker belasteten Verkehrsbereichen (an Straßen und in Fahrzeugen) konnten zeitlich stärker differenzierende Aussagen über die individuelle Expositionssituation der Kinder auf der vorhandenen Datenbasis nicht gemacht werden. Daher ergibt sich als eine zentrale Schlussfolgerung aus diesem Projekt die Forderung, Fragebögen in epidemiologischen Studien von vornherein möglichst so anzulegen, dass mit Hilfe von Modellen und anderen Auswertemethoden zu verallgemeinernde Aussagen getroffen werden können. Hierzu sollten bereits beim Studiendesign erfahrene Modellanwender resp. –entwickler mit zu Rate gezogen werden, damit zu den im Rahmen der geplanten Untersuchung geeigneten Modellen auch die darauf abgestimmten Fragebögen zum Einsatz gebracht werden. In der Mehrheit der bislang durchgeführten epidemiologischen Studien wurde dies bis dato nicht berücksichtigt.

