

¹ Kinderklinik, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden

² Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Dresden

³ Amt für Umweltschutz der Stadt Dresden

⁴ Ingenieurbüro Lohmeyer, Radebeul

⁵ Institut für Epidemiologie und Sozialmedizin der Universität Münster

Validierung von subjektiven Angaben zur Verkehrsexposition durch Verkehrszählungen, NO₂-Ausbreitungsmodellierungen und NO₂-Immissionsmessungen

Summary

Validation of traffic self-reports by traffic counts, NO₂ dispersion models and NO₂ immission measurements

Objectives: The validity of self-reports of traffic density on street of residence in cities has not been evaluated extensively yet.

Methods: This study compared traffic self-reports with exposure estimates based on traffic counts and immission measurements.

Results: Self-reports correlated well with traffic count data but less well with data from measurements of background immission.

Conclusions: As traffic counts primarily represent direct exposure to road traffic and immission concentrations primarily represent city background exposure to traffic-related pollutants, self-reports reflect direct traffic exposure more strongly than background exposure.

Keywords: Traffic self-reports – Validation – Traffic counts – NO₂ – Background exposure.

Eine Vielzahl epidemiologischer Studien hat den Zusammenhang von Atemwegserkrankungen und verkehrsbedingter Exposition mit Luftschadstoffen an der Wohnadresse untersucht. Die Verkehrsexposition wurde dabei mit unterschiedlichen Methoden erfasst, z.B. durch Angaben in Fragebögen (Weiland et al. 1994; Duhme et al. 1996; Ciccone et al. 1998), Verkehrszählungen (Wjst et al. 1993; Oosterlee et al. 1996; Van Vliet et al. 1997; English et al. 1999; Krämer et al. 2000), punktuelle Schadstoffmessungen im Untersuchungsgebiet (Krämer et al. 2000; Studnicka et al. 1997;

Braun-Fahrländer et al. 1992; Braun-Fahrländer et al. 1997; Hirsch et al. 1999) oder individuelle Schadstoffmessungen mit tragbaren Messgeräten (Krämer et al. 2000; Braun-Fahrländer et al. 1992).

Die Erhebung von Angaben zur Verkehrsexposition am Wohnort mittels Fragebogen ermöglicht es, mit relativ geringem Aufwand Informationen über die Exposition vieler Probanden zu bekommen. Es besteht jedoch das Risiko der Verzerrung der Information durch Wahrnehmungs- und Wiedergabefehler, z.B. infolge der Erkrankung eines Kindes. Subjektive Angaben zur Verkehrsexposition wurden bislang nur in wenigen Studien validiert (Ciccone et al. 1998; Dell'Orco et al. 1997).

Darüber hinaus sind Individuen in der Stadt neben der direkten Exposition gegenüber Schadstoffen aus dem Strassenverkehr auch den aus kleineren Quellen stammenden oder durch Ausbreitung entstehenden Hintergrundimmissionen ausgesetzt. Die Hintergrundimmissionen können als chronische Belastung für die Gesundheit von Bedeutung sein. Es stellt sich die Frage, ob bei der subjektiven Einschätzung der Schadstoffbelastung solche nur eingeschränkt wahrnehmbaren Belastungen widerspiegelt werden.

Im Rahmen verschiedener Studien wurden 1994/95 im Raum Dresden verschiedene Informationen über Schadstoffexpositionen gewonnen: subjektive Angaben zur Verkehrsexposition (Hirsch et al. 1999; Weiland et al. 1999), Daten zur Verkehrsintensität (Heusch-Boesefeldt 1995) und Daten zur NO₂-Immission an Rastermesspunkten (Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen 1995). NO₂ wurde als wichtiger Indikator für verkehrsbedingte Exposition gewählt, weil nach einer Analyse für den gleichen Zeitraum in Dresden 46% der NO₂-Emission aus dem Strassenverkehr stammen. Ob NO₂, das nach einer Reihe von Studien (Braun-Fahrländer et al. 1992; Braun-Fahrländer et al. 1997; Hirsch et al. 1999) mit einer

unspezifischen Reizung der Atemwege assoziiert ist, das eigentlich schädigende Agens ist oder nur mit der wahren Noxe, z.B. partikulären Stoffen, gemeinsam emittiert wird, ist bislang nicht endgültig geklärt.

Wir stellten für die vorliegende Arbeit folgende Fragen:

- Wie gut stimmen Fragebogenangaben zur Verkehrsexposition mit Daten anderer (objektiverer) Untersuchungsmethoden überein?
- Welche spezifischen Aspekte der Verkehrsexposition am Wohnort werden durch Fragebogenangaben vor allem wiedergegeben?

Um diese Fragen zu untersuchen, wurden die Assoziationen zwischen den folgenden fünf Expositionsmassen betrachtet:

- 1) subjektive Angaben zum Verkehr an der Wohnadresse,
- 2) Verkehrszählungen, 3) NO₂-Exposition nach Ausbreitungs-Modellrechnung, 4) NO₂-Hintergrundexposition, 5) NO₂-Kombinationsmodell, das neben der Hintergrundbelastung die direkte Verkehrsexposition an der Wohnadresse von Kindern mit berücksichtigt. Auf eine Berücksichtigung der Schuladressen wurde verzichtet, da frühere Untersuchungen ergeben hatten, dass diese Zusatzinformation keine wesentliche Änderung der Beziehung zwischen Schadstoffexposition an der Wohnadresse und Gesundheitsmerkmalen bewirkt hatte (Hirsch et al. 1999).

Methoden

Ermittlung der individuellen Exposition

Die individuelle Verkehrsexposition von Schulkindern in Dresden wurde mit verschiedenen Methoden untersucht.

Angaben aus einem Fragebogen einer Querschnittsstudie in den Jahren 1995/96 (Weiland et al. 1999)

Es wurden Eltern von n = 7534 Kindern in Dresden zur Verkehrssituation an der Wohnadresse befragt (*Merkmal: Fragebogenangaben*). Die untersuchte Population umfasste alle Dresdner Einschüler (n = 3866) des Jahres 1996 und eine Zufallsstichprobe (61 %) unter den Schülern der 4. Klasse (n = 3 668). Von den Eltern wurden folgende Fragen beantwortet:

- a) „An was für einer Strasse wohnt Ihr Kind?“ (Hauptstrasse oder Nebenstrasse).
- b) „Wie oft fahren an Wochentagen Lastwagen auf der Strasse, an der Ihr Kind wohnt?“ (nie, selten, öfter am Tag oder fast den ganzen Tag).
- c) „Wie oft ist zähflüssiger Verkehr oder Stau auf der Strasse, an der Ihr Kind wohnt?“ (nie, selten, öfter am Tag oder fast den ganzen Tag).

Kfz-Zählungen

An den Hauptstrassen in der Stadt Dresden wurden im Jahr 1994 an acht grossen Kreuzungen kontinuierliche und an 160 weiteren Punkten diskontinuierliche Verkehrszählungen durchgeführt (Heusch-Boesefeldt 1995) (*Merkmal: Verkehrszählungen*). Der Abstand der Wohnadressen zur nächsten vielbefahrenen Strasse (> 5000 Kfz/d) wurde mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (Arc Info, Environmental Systems Research Institute, Redlands CA) bestimmt. Die Adressen wurden kategorisiert in solche, die weniger oder mehr als 30 m von einer solchen Strasse entfernt lagen.

Expositionsschätzung basierend auf Ausbreitungsmodellierungen

Die NO₂-Exposition sowohl an vielbefahrenen Strassen in Dresden mit Verkehrsstärken von mehr als 5000 Fahrzeugen pro Tag als auch ausserhalb von Strassenschluchten wurde mit dem Ausbreitungsmodell PROKAS[®], SFI GmbH Karlsruhe (SFI 1996) berechnet. Zur Ermittlung der individuellen Exposition wurde der Abstand der Wohnadresse zur nächstgelegenen Hauptstrasse mit mehr als 5000 Kfz/d mit Hilfe eines geografischen Informationssystems bestimmt. Dann wurden unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse (Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik) und des Wochenganges der Emissionen (hier abgeleitet aus Fahrzeugmengen pro Tag, Lkw-Anteil, Verkehrssituation auf dem betreffenden Streckenabschnitt und fahrzeugspezifischen Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes für das Jahr 1994) die lokalen NO₂-Immissionen berechnet. Dabei wurden auch städtebauliche Bedingungen (Strassenschluchtbreite (bis zu 100 m), Länge und Lage der Strasse, Anteil der Bebauungslücken etc.) berücksichtigt. Das Ausbreitungsmodell ist in der Lage, sämtliche Strassenzüge des Hauptstrassennetzes der Stadt Dresden gleichzeitig mit ihren Emissionen bis zu mehreren Kilometern Entfernung zu berücksichtigen.

Für n = 5338 Kinderadressen konnten mit Hilfe des Modells NO₂-Schadstoffwerte berechnet werden (*Merkmal: Ausbreitungsmodell*). Für die übrigen Kinder (n = 83) fehlten für das Programm PROKAS erforderliche Angaben (z.B. Lage der Wohnung zur Strasse), da nicht in allen Fragebögen sämtliche Fragen beantwortet worden waren.

Das Modell PROKAS wurde an Immissionsdaten kontinuierlicher Messstellen, z.B. in Stuttgart, Karlsruhe und Dresden validiert. Für NO₂-Jahresmittelwerte ergaben sich dabei relative Abweichungen der Rechenwerte von den Messwerten von +20 % bis -20 %.

Hintergrundbelastung basierend auf hauptstrassenfernen Immissionsmessungen

Zwischen April 1994 und April 1995 wurden in Dresden an 181 Rasterpunkten, die im Abstand von einem km wie ein Netz das Messgebiet überdecken, je 26 Schadstoffmessungen zwischen 6.00 Uhr und 23.00 Uhr durchgeführt (Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen 1995). Aus diesen Messwerten wurde der Jahresmittelwert bestimmt. Aus den Rasterpunktmessungen an hauptstrassenfernen Monitoren wurde für alle Kinderadressen eine NO₂-Hintergrundbelastung (*Merkmal: Hintergrundbelastung*) ermittelt. Dabei wurde den NO₂-Jahresmittelwerten an allen Punkten, die in mindestens 300 m Abstand von einer vielbefahrenen Strasse entfernt lagen (n = 114; Mittelwert 25,2; Standardabweichung 7,0 µg/m³ Luft), nach visueller Beurteilung der Schadstoffverteilung auf Farbgrafiken eine quadratische Regressionsfunktion angepasst.

Die NO₂-Hintergrundbelastung wurde darin als eine Funktion der geografischen Koordinaten folgendermassen dargestellt:

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 = & 24,78 + 5,46 (r-540) \\ & + 5,81 (h-565) - 3,64(r-540)^2 \\ & + 0,34 (r-540) (h-565) - 4,22(h-565)^2 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Dabei bezeichnen r 10⁴ den Rechtswert und h 10⁴ den Hochwert der Wohnadresse im Gauss-Krüger (GK)-System. Die Einflussgrössen in diesem Modell, r-540 und h-565, stellen die Abstände des Adresspunktes vom linken unteren Eckpunkt eines Rechteckes dar, welches das Stadtgebiet von Dresden einschliesst. Der Anteil der durch dieses Modell erklärten Varianz an der Gesamtvarianz der an verkehrsfernen Rasterpunkten gemessenen NO₂-Werte beträgt 0,25.

Schätzung der Verkehrsexposition basierend auf hauptstrassenfernen Immissionsmessungen und hauptstrassennahen Immissionsberechnungen

Unter der Annahme, dass die Exposition an hauptstrassenfernen Adressen besser durch Immissionsmessungen und die Exposition in der Nähe von vielbefahrenen Strassen besser durch Ausbreitungsberechnung (basierend auf Verkehrszählungen) geschätzt wird, wurden in einem weiteren Expositionsmodell beide Informationsquellen genutzt (*Merkmal: Kombinationsmodell*). Für alle Wohnadressen in einem Abstand von mindestens 300 m von vielbefahrenen Hauptstrassen wurde die Hintergrundbelastung als NO₂-Schätzwert verwendet. Bei einem Abstand der Wohnadresse von weniger als 30 m von der nächstgelegenen vielbefahrenen Strasse wurde der aus dem Modell PROKAS ermittelte Wert für die Exposition am Strassenrand (siehe Ausbrei-

tungsmodell) zugeordnet. Eine positive Differenz zwischen diesem Wert und der Hintergrundbelastung wird als Zusatzbelastung durch Hauptstrassennähe interpretiert, wobei angenommen wird, dass diese Zusatzbelastung mit wachsendem Abstand von der nächsten vielbefahrenen Hauptstrasse zwischen 30 m und 300 m linear abfällt. Bei einem Abstand zwischen 30 m und 300 m zur nächstgelegenen verkehrsreichen Strasse (> 5000 Kfz/d) wurde deshalb zwischen Hintergrundbelastung und Strassenrand-Belastungswert linear interpoliert. Der sich aus diesem kombinierten Modell ergebende Wert ist für hauptstrassennahe (< 30 m) Adressen identisch mit dem Wert aus dem Ausbreitungsmodell und für hauptstrassenferne Punkte (> = 300 m) identisch mit der Hintergrundbelastung. Für Adressen, an denen der errechnete Kombinationswert unter dem Hintergrundbelastungswert lag (n = 30), wurde letzterer auch als Kombinationswert angenommen.

Statistische Methoden

Um zu untersuchen, wie gut Fragebogenangaben mit gesundheitlich bedeutsamen Unterschieden in der Verkehrsinzidenz assoziiert sind, wurde die Verkehrsexposition in Anlehnung an Daten von English et al. (1999) in Kategorien (Strassen mit ≤ 5000 Kfz/d bzw. > 5000 Kfz/d) eingeteilt. Der Zusammenhang zwischen den subjektiven Angaben zur Verkehrsexposition und kategorisierten Verkehrszahlen wurde zunächst in Form von Kreuztabellen beschrieben. Dann wurden Fragebogenangaben als Einflussvariable und Verkehrszählungsdaten als Zielvariable in einem logistischen Regressionsmodell analysiert. In einem zweiten Schritt wurde eine Erkrankung des Kindes an Asthma, Bronchitis (Arztdiagnose), Husten oder atopische Erkrankungen der Eltern als mögliche verzerrende Einflussgrösse in einem multivariaten Modell mit berücksichtigt.

Die Unterschiede in der Assoziation zwischen kategorisierten Fragebogenangaben und metrischen Expositionsangaben (Merkmale Hintergrundbelastung, Ausbreitungsmodell, Kombinationsmodell) wurden zunächst durch eine einzelne Masszahl, den Punkt-multiserialen Korrelationskoeffizienten (Wortha 1989), beschrieben. Danach wurden Beziehungen zwischen Fragebogenangaben und metrischen Expositionsschätzungen mit Hilfe von Varianzanalysen geprüft und durch Angabe von NO₂-Mittelwert bzw. -Mittelwertdifferenzen der Kategorien von Fragebogenangaben quantifiziert. Alle Rechnungen wurden mit SPSS (Chicago, IL) für Microsoft Windows 10.07 durchgeführt.

Ergebnisse

Fragebogenangaben

Die Fragebögen wurden von 3312 Eltern der Einschüler (85,7%) und 3045 Eltern der Viertklässler (83%) beantwortet (insgesamt n = 6357). Davon waren n = 6181 Kinder deutscher Staatsbürgerschaft, die länger als ein Jahr in Dresden wohnten und n = 5421 Kinder mit exakter Angabe der Wohnadresse. Davon wohnten 948 (17%) Kinder an verkehrsreichen Strassen mit mehr als 5000 Fahrzeugen pro Tag. An verkehrsärmeren Strassen (≤ 5000 Kfz/d) wohnten n = 4473 (83%) Kinder, davon 3674 im Abstand von > 30 m bis 300 m und 799 im Abstand von ≥ 300 m von einer viel befahrenen Strasse.

NO₂-Exposition nach verschiedenen Modellen

Die NO₂-Exposition an den Wohnadressen der Kinder, nach unterschiedlichen Modellen geschätzt, ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Korrelationen der metrischen NO₂-Expositionswerte untereinander spiegeln die unterschiedliche Information in den Daten wieder. Der Pearsonsche Korrelationskoeffizient r beträgt zwischen Hintergrundbelastung und Ausbreitungsmodell-Werten r = 0,15, zwischen Hintergrund-

Tabelle 1 Fragebogenangaben zur Verkehrsexposition an der Wohnadresse

Elternangaben zur Verkehrsexposition in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer Atemwegserkrankung der Kinder		
Lkw-Verkehr	Arztdiagnose „Asthma“	Arztdiagnose „Kein Asthma“
Nie	32 (8.0%)	542 (10.0%)
Selten	170 (42.6%)	2353 (43.4%)
Ofter am Tag	118 (29.6%)	1538 (28.3%)
Fast den ganzen Tag	79 (19.8%)	993 (18.3%)

Angabe der absoluten und relativen Häufigkeiten, die Häufigkeiten für Lkw-Verkehr unterscheiden sich in beiden Gruppen nicht signifikant (Chi-Quadrat-Test, p = 0.54).

Tabelle 2 Beschreibung der individuellen NO₂-Exposition durch Ausbreitungsmodell, Kombinationsmodell und Hintergrundbelastung

Kenngrößen der individuellen NO ₂ -Exposition (µg/m ³)			
	Ausbreitungsmodell	Kombinationsmodell	Hintergrundbelastung
Mittelwert	29.9	35.1	27.1
Median	28.1	33.3	27.5
Standardabweichung	6.2	7.6	1.7
Minimum	22.4	19.5	19.3
Maximum	62.5	63.7	29.0

belastung und Werten des Kombinationsmodells r = 0,27, zwischen den Werten aus dem Ausbreitungs- und dem Kombinationsmodell dagegen r = 0,73 (alle Korrelationen sind signifikant von Null verschieden, p < 0,05).

Assoziation der Fragebogenangaben mit Verkehrszahlen

Die Assoziation zwischen Fragebogenangaben zur Verkehrsexposition und objektiver Verkehrsdichte (≤ 5000 Kfz/Tag vs. > 5000 Kfz/Tag in Analogie zu anderen Untersuchungen (English et al. 1999)) wird durch die Abbildungen 1 bis 3 grafisch veranschaulicht.

Die Odds Ratios für hohe Verkehrsintensität (> 5000 Kfz/Tag) sind in Populationskategorien mit subjektiv höherer Verkehrsbelastung signifikant erhöht. Die Validität der Elternangaben hängt nicht davon ab, ob die Kinder Asthma haben oder nicht (Tab. 3). Ähnliche Ergebnisse ergeben sich, wenn man das Vorhandensein/Nichtvorhandensein anderer Atemwegserkrankungen bei den Kindern (Husten, Bronchitis) oder von atopischen Erkrankungen der Eltern zur Adjustierung benutzt oder die Angaben bezüglich des Strassentyps oder der Häufigkeit von Stau betrachtet (Daten nicht gezeigt).

Werden die Elternangaben in zwei Kategorien (nie/selten vs. öfter/fast den ganzen Tag) zusammengefasst, beträgt die Sensitivität bzw. Spezifität der Fragebogenangaben im Hinblick auf die Verkehrszahlen

- für die Frage nach dem Strassentyp: 88,5% bzw. 80,8%,
- für die Frage nach Lkw-Verkehr: 88,9% bzw. 61,4% und
- für die Frage nach Stau: 55,3% bzw. 86,2%.

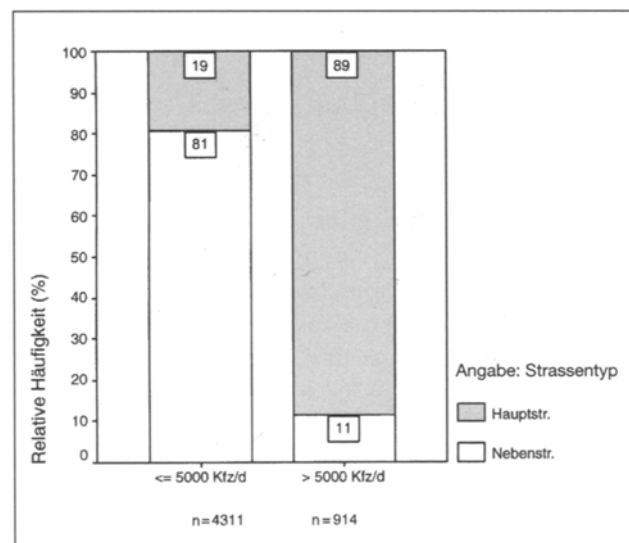


Abbildung 1 Vergleich der Fragebogenangaben zum Strassentyp von Bewohnern vielbefahrener und wenigbefahrener Strassen

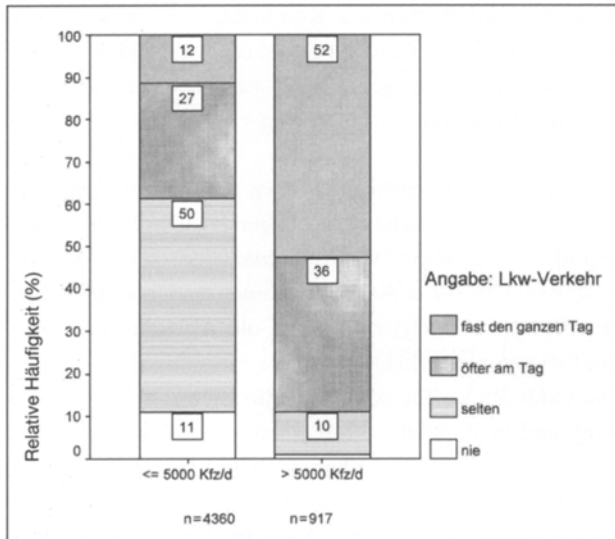


Abbildung 2 Vergleich der Fragebogenangaben zum Lkw-Verkehr von Bewohnern vielbefahrener und wenigbefahrener Strassen

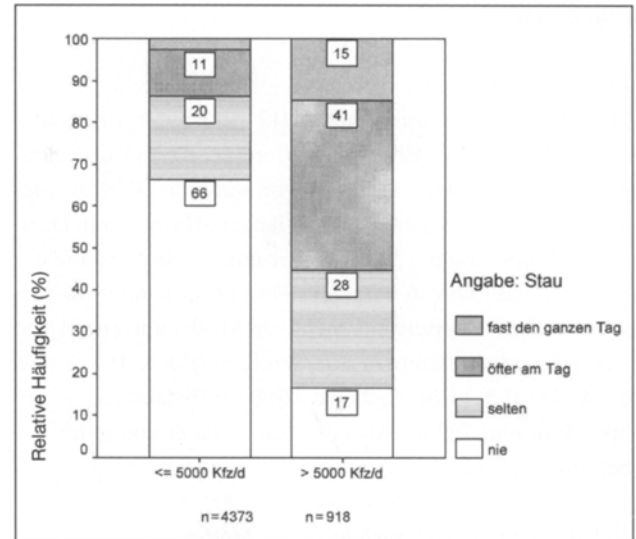


Abbildung 3 Vergleich der Fragebogenangaben zum Stau von Bewohnern vielbefahrener und wenigbefahrener Strassen

Tabelle 3 Assoziation von Elternangaben zur Verkehrsexposition und Verkehrszählungsdaten

	Odds Ratios für hohe Verkehrsintensität (> 5000 Kfz/d) im Vergleich zu niedriger Verkehrsbelastung (≤ 5000 Kfz/d)			
	OR nicht adjustiert hinsichtlich des Vorliegens von Asthma		OR adjustiert hinsichtlich des Vorliegens von Asthma	
	OR	95%-Konfidenzintervall	OR	95%-Konfidenzintervall
Lkw-Verkehr				
Nie	1.00		1.00	
Selten	2.02	(1.04, 3.91)	1.95	(1.01, 3.78)
Öfter am Tag	13.60	(7.19, 25.71)	13.37	(7.06, 25.33)
Fast den ganzen Tag	46.11	(24.34, 87.35)	44.97	(23.74, 85.20)
Stau				
Nie	1.00		1.00	
Selten	5.73	(4.62, 7.09)	5.73	(4.61, 7.12)
Öfter am Tag	14.67	(11.87, 18.13)	14.70	(11.87, 18.20)
Fast den ganzen Tag	21.87	(16.27, 29.40)	22.60	(16.78, 30.44)
Strassentyp				
Nebenstrasse	1.00		1.00	
Hauptstrasse	32.36	(26.04, 40.23)	32.36	(25.98, 40.31)

Assoziation der Fragebogenangaben mit der NO₂-Hintergrundbelastung und der NO₂-Exposition nach Modellen, die Kfz-Verkehr berücksichtigen

Die Mittelwerte in den verschiedenen Kategorien von Angaben zum Stau sind sowohl für das Hintergrundmodell als auch für Modelle, die Verkehrszählungen berücksichtigen, statistisch signifikant verschieden (ANOVA, p < 0,05). Die Mittelwertunterschiede sind jedoch deutlich grösser für Werte aus dem Ausbreitungsmodell (Abb. 4) als für die Hintergrundbelastung (Abb. 5). Die 95%-Konfidenzintervalle für die Mittelwertdifferenzen aufeinanderfolgender Kategorien von Stau betragen beim Ausbreitungsmodell: 1) nie vs. selten Stau: 2,7 – 3,4 µg/m³; 2) selten vs. öfter Stau:

6,4 – 7,1 µg/m³; 3) öfter vs. fast den ganzen Tag Stau: 6,6 – 7,9 µg/m³. Bei der Hintergrundbelastung betragen die entsprechenden Differenzen: 1) 0,2 – 0,4; 2) 0,1 – 0,4; 3) 0,1 – 0,5 µg/m³. Für die Frage nach Haupt- und Nebenstrasse und für die verschiedenen Kategorien von Lkw-Verkehr sowie beim Vergleich des Kombinationsmodells mit den Fragebogenangaben erhält man ähnliche Ergebnisse. Die Stärke der Korrelation der subjektiven Angaben mit den quantitativen Angaben über NO₂-Konzentrationen kann mit Hilfe des Punkt-multiseriellen Korrelationskoeffizienten (Wortha 1989) gemessen werden (Tab. 4). Korrelationskoeffizienten nahe Null für die Hintergrundbelastung X₃ deuten auf keine bzw. eine sehr schwache Assoziation der

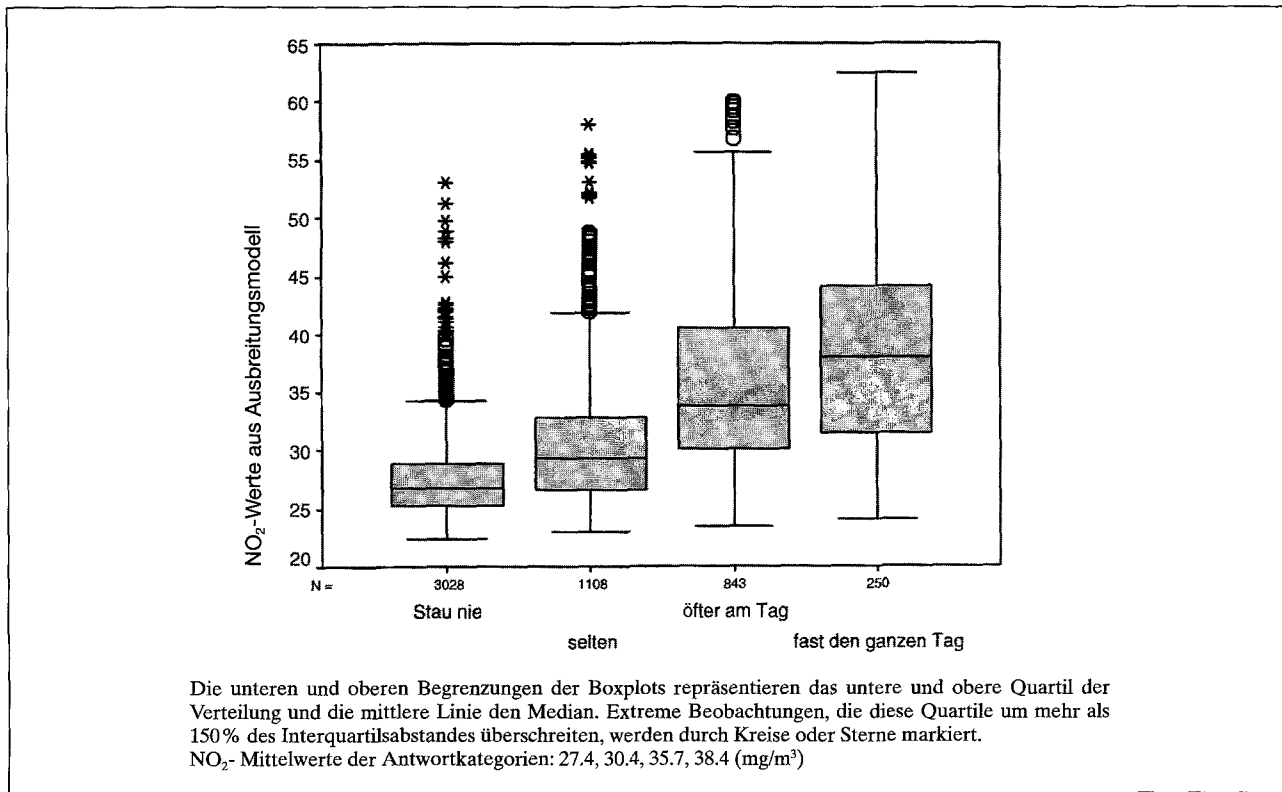


Abbildung 4 NO₂-Belastung nach Ausbreitungsmodellierung basierend auf Verkehrszählungen 38,4 (µg/m³) in Abhängigkeit von der Einschätzung von Stau

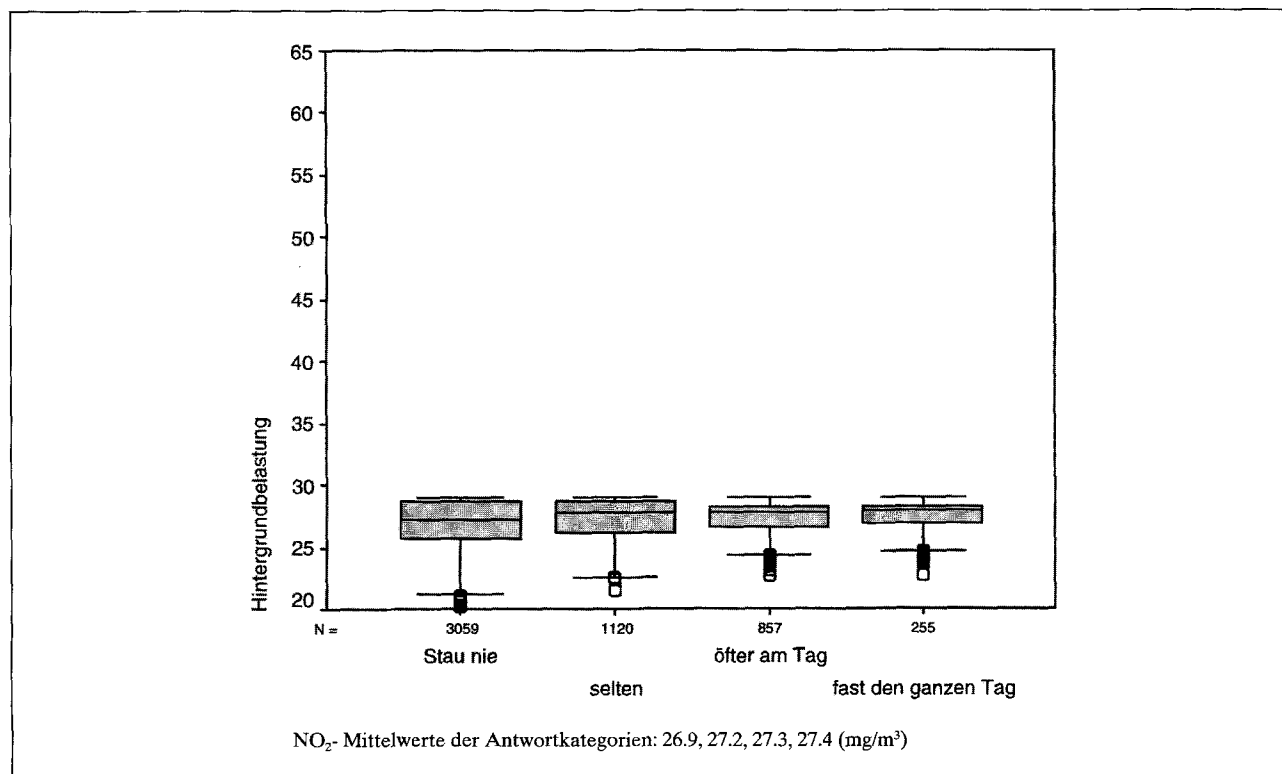


Abbildung 5 NO₂-Hintergrundbelastung 27,4 (µg/m³) in Abhängigkeit von der Einschätzung von Stau

Tabelle 4 Korrelation der subjektiven Angaben zur Verkehrsexposition mit den NO₂-Schätzungen aus objektiven Messverfahren (Merkmale: Ausbreitungsmodell, Kombinationsmodell, Hintergrundbelastung)

Korrelation mit Expositionsschätzwerten aus objektiver Methode				
Subjektive Angaben	Ausbreitungsschätzwert X ₁	Kombinierte Hauptstrassen/ Hintergrundbelastung X ₂	Hintergrundbelastung X ₃	95 % VB
Hauptstrasse	0,30	0,17	0,002	(2 · 10 ⁻⁷ , 0,001)
Lkw-Verkehr	0,13	0,15	0,01	(4 · 10 ⁻⁵ , 0,002)
Stau	0,20	0,23	0,01	(4 · 10 ⁻⁵ , 0,002)

Angabe der Punkt-multiserialen Korrelationskoeffizienten der subjektiven Angaben und NO₂-Werte. Die 95 % Vertrauensbereiche (VB) in der rechten Spalte beschreiben den Vertrauensbereich für die Annahme, dass keine Korrelation zwischen Fragebogenangaben und NO₂-Exposition besteht, d. h. der Korrelationskoeffizient 0 beträgt. Daraus ergibt sich, dass alle ermittelten Korrelationskoeffizienten ausserhalb dieser VB liegen und somit eine signifikante Assoziation zwischen allen Fragebogenangaben und NO₂-Schätzungen.

subjektiven Angaben mit diesen NO₂-Werten hin. Dagegen ist eine stärkere Korrelation der subjektiven Angaben mit den NO₂-Konzentrationen, die eine Zusatzbelastung an den Hauptstrassen berücksichtigen (Ausbreitungsschätzwert X₁ und kombinierte Hauptstrassen- und Hintergrundbelastung X₂) erkennbar. Die subjektiven Angaben zur Exposition beschreiben also stärker die Zusatzbelastung an vielbefahrenen Strassen als die vorhandene Grundbelastung an der Wohnadresse.

Diskussion

Die vorliegende Studie vergleicht auf der Basis einer Stichprobe von mehr als 5000 Schulkindern subjektive Elternangaben zur Verkehrsbelastung an der Wohnadresse mit verschiedenen Expositionsschätzungen auf der Basis objektiver Informationen (Verkehrszählungen, Ausbreitungsmodellierung auf Basis von Immissionsmessungen und Verkehrszählungen). Unsere Daten bestätigen die Ergebnisse zweier kleinerer Studien (Ciccone et al. 1998; Dell'Orco et al. 1997) an 85 bzw. 250 Individuen, in denen ein signifikanter Zusammenhang zwischen Fragebogenangaben zum Lkw-Verkehr und NO₂-Konzentrationen bzw. Lkw-Zahlen aufgedeckt worden ist.

In die hier verwendeten Schätzverfahren gehen im wesentlichen zwei Komponenten ein:

1. Die innerstädtische Hintergrundbelastung mit Schadstoffen, die aus der grossräumigen Ausbreitung verkehrs- und anderer verbrennungsbezogener Schadstoffe in der Stadt resultiert, und die vor allem durch Immissionsmessungen an strassenfernen Monitoren erfasst wird (Merkmal *Hintergrundbelastung*).
2. Die unmittelbare Exposition mit Strassenverkehr, welche die Luftschadstoffbelastung im Nahfeld von stark befahrenen Strassen wesentlich mitbestimmt. Diese Komponente kann entweder mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen, wie dem hier verwendeten System PROKAS, ermittelt werden oder als Zusatzbelastung für an Hauptstrassen

sen Wohnende zur Hintergrundbelastung addiert werden (*Kombinationsmodell*).

Die Antworten auf die Frage nach dem Strassentyp (Hauptstrasse/Nebenstrasse) gaben in unserer Studie die objektiv bestimmte Verkehrsdichte (<= 5000 Kfz/d bzw. > 5000 Kfz/d) mit hoher Spezifität und Sensitivität wieder. Für die anderen Fragebogenangaben war die diesbezügliche Treffsicherheit etwas geringer, jedoch finden sich auch hier Zusammenhänge zwischen subjektiven Angaben und objektiven Verkehrszahlen. In dieser Studie ist kein Einfluss einer möglichen Atemwegserkrankung oder Allergie des Kindes oder der Eltern auf das Antwortverhalten erkennbar.

Die Fragebogenangaben spiegeln im Wesentlichen solche NO₂-Expositionsschätzungen wieder, die auf der Ausbreitungsmodellierung auf Basis von Verkehrszählungen beruhen und die Zusatzbelastung an vielbefahrenen Hauptstrassen einschliessen. Die städtische Hintergrundbelastung, die an Punkten in grösserer Entfernung von vielbefahrenen Strassen gemessen wird, ist deutlich schlechter mit Fragebogenangaben korreliert. Dies ist auch plausibel, da die Studienteilnehmer die Belastung an der eigenen Wohnadresse besser wahrnehmen können als die diffuse Hintergrundbelastung. Diese Studie bestätigt, dass Fragebogenangaben ein valides Instrument zur Abschätzung der verkehrsbedingten Exposition sind. Gleichzeitig findet sich jedoch trotz signifikanter Unterschiede der NO₂-Exposition in den verschiedenen Antwortkategorien (siehe Abb. 4 und 5) eine starke Überlappung der Exposition, so dass die Fragebogenangaben nicht geeignet sind, präzise zwischen NO₂-Expositionskategorien zu unterscheiden (siehe Abb. 4 und 5).

Zusammenfassend zeigt diese Analyse, dass Fragebogenangaben zur Verkehrsexposition in einer Grossstadt gut mit Verkehrszählungsdaten sowie Ergebnissen eines nachgeschalteten Ausbreitungsmodells korrelieren. Unterschiede in der innerstädtischen Hintergrundbelastung mit verkehrsabhängigen Schadstoffen werden durch diese Angaben weniger gut wiedergegeben.

Zusammenfassung

Fragestellung: Die Validität von Fragebogenangaben zur Verkehrsbelastung am Wohnort ist bislang nur wenig untersucht worden.

Methoden: In dieser Arbeit werden subjektive Einschätzungen aus Fragebögen mit komplexeren Expositionsmodellen, die auf Verkehrszählungen und Immissionsmessungen beruhen, anhand derselben Population verglichen.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung der subjektiven Angaben mit den auf Verkehrszählungen und Ausbreitungsmodellierung basierenden Expositionsdaten, aber eine weniger gute Übereinstimmung mit Modellen, die auf Messungen der Hintergrundimmission beruhen.

Schlussfolgerungen: Fragebogenangaben zur Verkehrsexposition sind somit stärker mit der Höhe der unmittelbaren Spitzenbelastung an der Wohnadresse assoziiert als mit der Hintergrundbelastung durch diffuse innerstädtische Ausbreitung von verkehrsbedingten Schadstoffen.

Résumé

Validation d'un questionnaire auto-administré sur l'exposition au trafic par le comptage du trafic, modèles de dispersion du NO₂ et mesures de l'émission du NO₂

Objectifs: La validité de questionnaires auto-administrés sur l'exposition à la densité du trafic dans les rues de résidences urbaines n'a pas encore été complètement évaluée.

Méthodes: Comparaison de l'auto-évaluation de l'exposition au trafic avec des mesures basées sur le comptage du trafic et des mesure d'émissions du NO₂.

Résultats: Bonne corrélation entre l'auto-évaluation et le comptage du trafic, mais moins bonne avec les données d'émission de NO₂.

Conclusions: L'auto-évaluation à l'exposition au trafic reflète mieux l'exposition directe que l'exposition de fonds, étant donné que le comptage du trafic représente avant tout l'exposition au trafic routier, alors que les émissions de NO₂ traduisent l'exposition de fonds aux polluants associés au trafic.

Literaturverzeichnis

Braun-Fahrländer C, Ackermann-Liebrich U, Schwartz J, et al. (1992). Air pollution and respiratory symptoms in preschool children. *Am Rev Respir Dis* 145: 42–7.

Braun-Fahrländer C, Vuille JC, Sennhauser FH, et al. (1997). Respiratory health and long-term exposure to air pollutants in Swiss schoolchildren. *Am J Respir Crit Care Med* 155: 1042–9.

Ciccone G, Forastiere F, Agabiti N, et al. (1998). Road traffic and adverse respiratory effects in children. *Occup Environ Med* 55: 771–8.

Dell'Orco V, Forastiere F, Rosini A, et al. (1997). Convention in long-range transboundary air pollution. Health effects of ozone and nitrogen oxides in an integrated assessment of air pollution. Leicester UK: Institute for Environmental Health: 112–4.

Duhme H, Weiland SK, Keil U, et al. (1996). The Association between Self-Reported Symptoms of Asthma and Allergic Rhinitis and Self-Reported Traffic Density on Street of Residence in Adolescents. *Epidemiology* 7: 578–82.

English P, Neutra R, Scalp R, et al. (1999). Examining associations between childhood asthma and traffic flow using a geographic information system. *Environ Health Perspect* 107: 761–7.

Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen (1995). Immissionsmessungen

im oberen Elbtal. Karlsruhe: Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen. (Bericht; Nr. 31-7/95).

Heusch-Boesefeldt (1995). Studie zur Verbesserung der Umweltsituation im Oberen Elbtal – Emissionskataster der Quellengruppe Verkehr. Aachen: Heusch-Boesefeldt: 13–43.

Hirsch T, Weiland SK, von Mutius E, et al. (1999). Inner city air pollution and respiratory health and atopy in children. *Eur Respir J* 14: 669–77.

Krämer U, Koch T, Ranft U, et al. (2000). Traffic-related air pollution is associated with atopy in children living in urban areas. *Epidemiology* 11: 64–70.

Oosterlee A, Drijver M, Lebrecht E, et al. (1996). Chronic respiratory symptoms in children and adults living along streets with high traffic density. *Occup Environ Med* 53: 241–7.

SFI (1996). Handbuch PROKAS. Karlsruhe: SFI

Studnicka M, Hackl E, Pischinger J, et al. (1997). Traffic-related NO₂ and the prevalence of asthma and respiratory symptoms in seven year olds. *Eur Respir J* 10: 2275–8.

Umweltbundesamt (1994). Abgasemissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland, Abschlussbericht. Berlin: UBA. (UBA-FB-91-042).

Van Vliet P, Knape M, de Hartog J, et al. (1997). Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environ Res* 74: 122–32.

Weiland SK, Mundt KA, Rückmann A, et al. (1994). Self-reported wheezing and allergic rhinitis in children and traffic density on street of residence. *Ann Epidemiol* 4: 243–7.

Weiland SK, von Mutius E, Hirsch T, et al. (1999). Prevalence of respiratory and atopic disorders among children in the East and West of Germany five years after unification. *Eur Respir J* 14: 862–70.

Wjst M, Reitmeir SD, Dold S, et al. (1993). Road traffic and adverse effects on respiratory health in children. *BMJ* 307: 596–600.

Worthington HP (1989). A new statistical method for mixed variates analysis in epidemiological research. *Biom J* 31: 941–55.

Korrespondenzadresse

Dr. Wiltrud Kuhlisch
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus
Dresden
Klinik und Poliklinik für Kinderheilkunde
Fetscherstr. 74
D-01307 Dresden

Tel. +49 351 463 5426

Fax: +49 351 463 7251

E-mail: kuhlisch@math.tu-dresden.de